

# Science & Technology Trends

# 科学技術動向

**3**  
**2011**  
**No.120**



## レポート

**p2,8**

廃プラスチック資源化の技術的展開と普及への課題

**p3,20**

排出権取引を利用した  
二酸化炭素回収・貯留技術の促進について

## トピックス

ライフサイエンス分野

**p4**

ビフィズス菌による O157 感染予防の  
メカニズム

ナノテク・材料分野

**p6**

インチサイズの単結晶ダイヤモンド  
ウェハーの作製技術

情報通信分野

**p5**

LED 照明に関する  
中国の大規模なエネルギー政策

エネルギー分野

**p7**

石炭ガス化複合発電の実証試験

Science & Technology Trends

# 科学技術動向 3/2011



2011年3月号 第11巻第3号/毎月26日発行 通巻120号 ISSN 1349-3663



文部科学省 科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター

# 科学技術動向

今月も「科学技術動向」をお届けします。

科学技術動向研究センターは、約 2000 名の産学官から成る科学技術人材のネットワークを持ち、科学技術政策において重要な情報あるいは意見の収集を行い、また科学技術予測に関する活動も続けております。

月刊「科学技術動向」は、科学技術動向研究センターの情報発信手段の一つとして、2001 年 4 月以来、毎月、編集・発行を行っています。意識レベルの高い科学技術関係者の方々、すなわち、科学技術全般に関して広く興味を示し、また科学技術政策にも関心をお持ちの方々に読んでいただけるものを目指しております。「トピックス」では最近の科学技術および政策から注目される話題をとりあげ、また、「レポート」では各国の動向や今後の方向性などを加えてさらに詳しく論じています。これらは、科学技術動向研究センターの多くの分野のスタッフが学際的な討議を重ねた上で執筆しています。「レポート」については、季刊の英語版の形で海外への情報発信も行っています。

今後とも、科学技術動向研究センターの活動に有効なご意見を読者の皆様からお寄せいただけることを期待しております。

文部科学省科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター センター長  
奥和田 久美

このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします。

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき「科学技術動向・月報一覧」でご覧いただけます。

## 文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

【連絡先】〒100-0013

東京都千代田区霞が関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館東館 16 F

【電 話】03-3581-0605 【FAX】03-3503-3996

【U R L】<http://www.nistep.go.jp>

【E-mail】[stfc@nistep.go.jp](mailto:stfc@nistep.go.jp)

## 廃プラスチック資源化の技術的展開と普及への課題

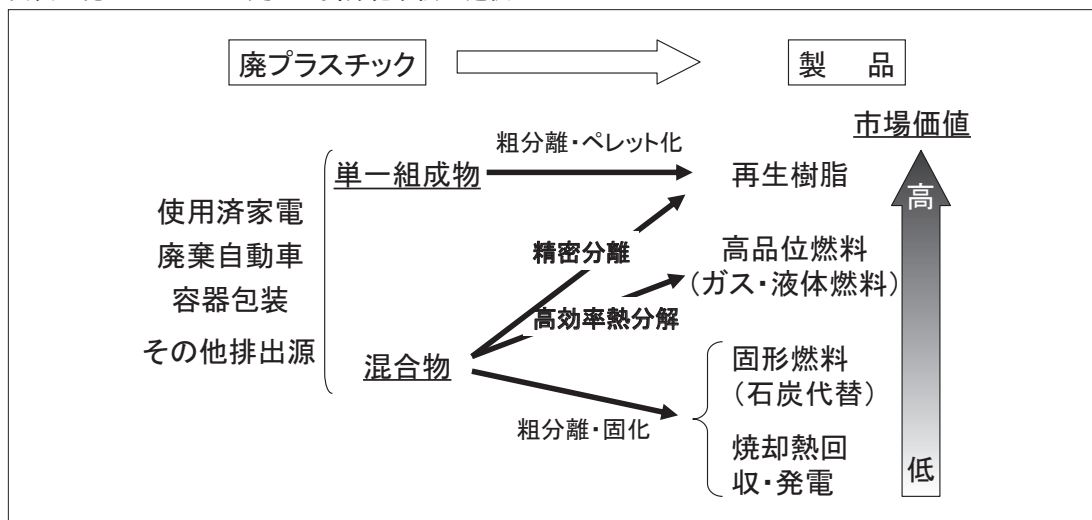
廃棄物の資源化・利用は循環型社会の形成への中心的課題である。さまざまな廃棄材料の資源化が進む中、廃プラスチックは金属やガラスに比べコストが高く、得られる再生製品の市場価値が低いなどの課題が指摘されてきた。しかし、資源価格の高騰で資源としての価値が高まっている。また日本では、循環型社会形成促進基本法の施行から10年を経て、企業の関心は廃棄物資源の徹底した利用に向かい、環境省や経済産業省では発展途上国への廃棄物資源化技術の移転推進政策を打ち出すまでになっている。

廃プラスチックから得られる代表的な資源化製品は、再生樹脂と燃料である。使用済み家電や廃棄自動車など混合廃プラスチックの静電選別による樹脂種別の分離が実用化され、廃プラスチックの再生樹脂として活用が拡大している。また、固形・液体・ガスの各燃料化も技術的信頼性が実証され、特に固形燃料は製紙業界を中心に石炭代替のボイラー燃料として普及している。しかし、廃プラスチックは、資源化コストが高く排出者やごみ処理関係者に経済的メリットが小さい。このため、資源化される割合は廃プラスチック総排出量の内、およそ3割に留まっている。

廃プラスチックの資源化率を向上するためには、混合廃プラスチックを低コストで市場価値の高い製品へと資源化することが重要であり、精密分離や熱分解に新技術の開発が必要である。低コストで環境上効果的な処理と資源化が実施されるよう技術の高度化への取り組みが必要である。特にプラスチックの物質フローの上流に位置する石油化学、プラスチック製造企業や各種研究機関には、低コストで環境上効果的な処理と資源化が実施されるよう技術の高度化が望まれる。

廃棄物の処理と資源化は、多数の要素技術を組み合わせたシステム技術であると同時に多数の利害関係者を巻き込む社会基盤の形成の取り組みであり、国や地方自治体の、廃棄物処理・資源化事業者の現場に直結した支援、地域の実情に合った支援や体制づくりの推進が不可欠である。例えば容器包装プラスチックのように市場経済のもとでは有効に資源化することが困難な未活用資源については、国が関与し適切な法や制度のもとで効果的にその活用を図る必要がある。

図表 廃プラスチック処理・資源化手法の選択



科学技術動向研究センターにて作成

## 排出量取引を利用した 二酸化炭素回収・貯留技術の促進について

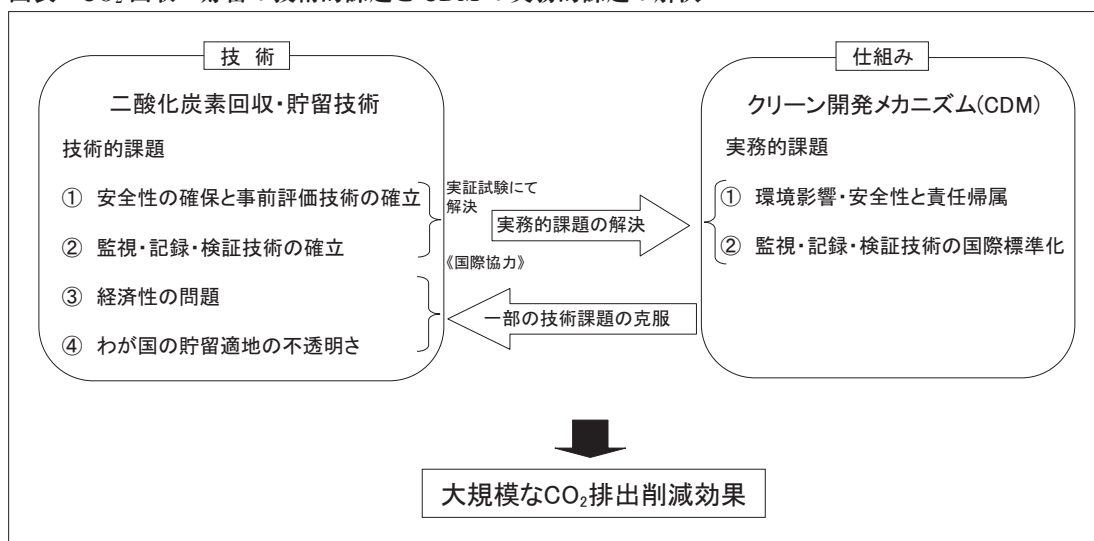
日本は既に世界でトップクラスの省エネ等が進み、さらなる CO<sub>2</sub> の排出削減には相当な努力が必要である。そのため、日本が CO<sub>2</sub> 排出を削減するには、日本の技術を海外展開して海外での削減に寄与することが必要である。そうした状況の中、クリーン開発メカニズム等（CDM）の排出量取引を利用した排出削減が重要な削減手段として検討されている。

CDM とは、先進国が開発途上国において CO<sub>2</sub> 排出削減に寄与した場合に、その削減分をクレジットとして自国の排出削減に加算できるという京都議定書で定められた仕組みである。しかし、これまでの CDM を利用した削減プロジェクトは規模が小さく、高い削減目標を達成するには十分ではなかった。

二酸化炭素回収・貯留技術は、燃焼あるいは化石燃料の採掘時に随伴して発生する CO<sub>2</sub> を大気中に拡散させないよう CO<sub>2</sub> を分離・回収し、地中深くに末永く貯留する技術であり、CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルが大きいとされ、既に日本をはじめ諸外国で実証実験が行われている。各国の環境にあった安全性確保や監視技術の高度化、コスト高、貯留適地の確保などの課題があるが、メキシコのカンクンでの第 16 回気候変動枠組条約国会議（COP16）において、二酸化炭素回収・貯留は CDM に適格であると国際的に認定された。

我が国では大規模な貯留適地が不透明であるのに対して、海外は貯留ポテンシャルに富んだ地点が多いと推定されている。よって今後我が国は、国際貢献と国益の両面から、二酸化炭素回収・貯留の実証試験を推進するとともに、将来、CDM に基づいたプロジェクトの円滑な展開を視野に国際標準化を図ることに加え、我が国と貯留先候補国との良好な信頼関係を築いておくことが肝要である。

図表 CO<sub>2</sub> 回収・貯留の技術的課題と CDM の実務的課題の解決



科学技術動向研究センターにて作成



ビフィズス菌にはヒトの腸内環境を整える様々な作用が知られており、病原菌の感染を防御する作用もそのひとつである。しかし、その作用機序は十分解明されていない。(独)理化学研究所の免疫・アレルギー科学総合研究センターを中心とする研究グループは、腸内細菌などをまったく持たない無菌マウスを用いた実験によって、特定のビフィズス菌が病原性大腸菌 O157 の感染を予防するメカニズムの一端を明らかにした。ある種のビフィズス菌は、腸内環境で酢酸を効率よく産生することにより、O157 の感染から大腸粘膜上皮を保護することができた。今回のマウス実験系と解析技術を活用し、特定の腸内細菌について生理作用のメカニズムを解明することができれば、腸内環境を改善するサプリメントや健康診断マーカーなどの開発につながる可能性がある。

## トピックス / ビフィズス菌による O157 感染予防のメカニズム

ビフィズス菌にはヒトの腸内環境を整える様々な作用が知られており、病原菌の感染を防御する作用もそのひとつである。しかし、その作用機序は十分解明されていない。

(独)理化学研究所の免疫・アレルギー科学総合研究センターを中心とする研究グループは、腸内細菌などをまったく持たない無菌マウスを用いた実験によって、特定のビフィズス菌が病原性大腸菌 O157 の感染を予防するメカニズムの一端を明らかにした。

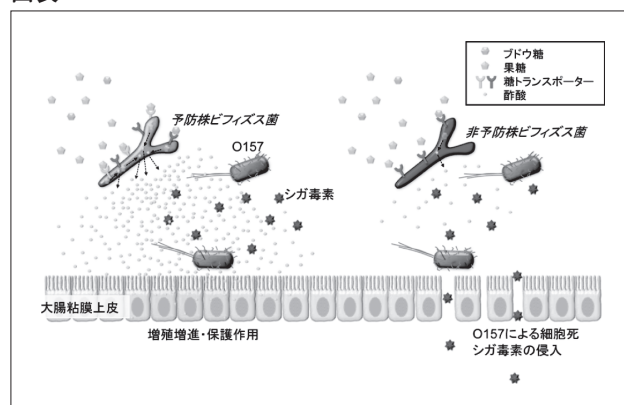
O157 は腸内でシガ毒素を産生し、ヒトにおいてはシガ毒素が大腸粘膜を傷害することによって腸管出血を引き起こしたり、血中に移行して溶血性尿毒症症候群などを発症させたりする。研究グループが作成した無菌マウスに O157 を経口投与すると、マウスは大腸下部に炎症を起こし7日程度で死亡した。しかしビフィズス菌の一種をあらかじめ経口投与しておくと、その後 O157 を投与しても感染死は起こらなかった。腸内では酢酸量が増加しており、シガ毒素は産生されていると確認されたが血中への移行はほとんど認められなかった。大腸粘膜上皮では死細胞が少なくなっており、炎症の存在を示す遺伝子の発現が抑制されていた。また、大腸粘膜上皮由来の培養細胞に酢酸を直接作用させると、細胞は O157 を感染させても死ににくくなった。これらの結果から、ビフィズス菌は腸内の酢酸量を増やすことによって大腸粘膜を保護し、O157 の感染を予防していることが明らかとなった。

腸内に常在するビフィズス菌には複数の種類があり、すべてのビフィズス菌がマウスの O157 感染死を予防できるわけではない。予防効果の異なるビフィズス菌の

ゲノム配列を比較解析した結果、予防効果のあるビフィズス菌のみに果糖の取り込みに必要な遺伝子が2種類存在することが判明した。酢酸はブドウ糖や果糖などから作られるが、O157 の感染炎症の場である大腸下部ではブドウ糖が枯渇しているため、果糖を効率よく利用できるビフィズス菌だけが酢酸を産生し、O157 による感染死を予防できるものと考えられる。

ヒトの腸内には数百種にも及ぶ細菌が常在するといわれており、健康状態や疾患と密接に関係している。これら細菌群とヒトとの相互作用は複雑であり、多くは未解明のままである。腸内環境が単純化されている無菌マウスと今回の解析技術を活用し、特定の腸内細菌について生理作用のメカニズムを解明することができれば、腸内環境を改善するサプリメントや健康診断マーカーなどの開発につながる可能性がある。

図表



出典：平成 23 年 1 月 27 日(独)理化学研究所プレスリリースより

### 参 考

- 1) Fukuda S. et al., Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate. Nature 469, 543-547 (2011)

中国政府は、2020 年までに原油とエネルギーにおいて世界一の消費国になると考え、LED 照明の普及をエネルギー問題の解決策の一つとして重要視している。「省エネ化と CO<sub>2</sub> 排出量の削減」とともに「中国国内 LED 会社の成長支援」「近い将来の LED 産業の支配」を目標に掲げている。大規模な LED 普及活動を 2009 年から 2015 年までをトライアル、モデル普及、普及の 3 期に分け、LED 部品の国産化率を大幅に向上させる計画を立てている。初期の牽引策とされる「十城万蓋（10 都市街灯普及）」プロジェクトでは、100 万とも 1 億ともいわれる LED 街灯を 10 都市に設置するため 21 のパイロット都市を選定し、大規模な生産基地の建設を開始した。

## トピックス 2 LED 照明に関する中国の大規模なエネルギー政策

中国政府は、2020 年までに中国が原油とエネルギーにおいて世界一の消費国になることを想定しており、LED（発光ダイオード）照明の普及をこのエネルギー問題の解決策の一つとみている。そして、「省エネ化と CO<sub>2</sub> 排出量の削減」・「中国国内 LED 会社の成長支援」・「近い将来の LED 産業の支配」を目標に掲げている<sup>1)</sup>。中国科学技術部が 2009 年から推進する「十城万蓋（10 都市街灯普及）」プロジェクトは、中国の LED 照明の大規模な普及活動の一つである。

中国の LED 照明産業の中で LED 照明の普及を推進する ShenZhen Century Epitech LEDs Co.,Ltd（以下、Century 社とする）の資料<sup>1)</sup>によれば、中国では 2009 年から 2015 年までの期間を、3 期に分けて推進し、LED 部品の国産化率を大幅に高める計画が立てられている。トライアル期（2009-2010 年）では、21 都市を対象に LED 部品の国産化比率（以下、国産化率とする）を 60% に、モデル普及期（2011-2013 年）では 50 都市を対象に国産化率を 70% に、そして普及期（2013-2015 年）では中国国内全域の都市を対象に国産化率を 90% 以上にする計画である。「十城万蓋」プロジェクトは、普及計画における初期の牽引策と位置付けられている。ここには、エネルギー政策を強力に推進していくとともに内需拡大により半導体照明産業を強力に支援する中国政府の戦略がうかがえる。

「十城万蓋」プロジェクトの目標は、10 都市に大量の LED 街灯を設置するもので、21 都市をパイロット都市として選定している。設置される LED 街灯の数値は 100 万とも 1 億ともいわれ明確ではない。「十城万蓋」プロジェクトを進めるために中国国内に 3 つの超大規模な LED 生産基地を建設中である。その一つである青島に建設中の生産基地（Century 社が推進）では、

青島湾近辺に 11.5km<sup>2</sup> の敷地が確保されており、中国政府の省エネルギー策による大きな優遇税制を受けている<sup>1)</sup>。

LED 照明の利用を進めていく上では技術上の課題はまだ多い<sup>2)</sup>。高効率の LED が必要とされる LED 街灯では、現時点では日本や台湾企業からの製品供給に頼らざるを得ない。そこで中国は、10-30% の財政的支援、直接的な資金投資（税金還付）、建築技術の提供、半導体照明の拠点構築、エネルギー管理などの項目において、各地域や企業を支援する。研究開発の面も支援するため、上海、深圳、南昌など 7 つの研究開発と生産のための拠点を定めている<sup>1)</sup>。

LED 照明だけに限らないが、こうした大規模な普及・製造により、世界市場での主導権を握ろうとする動きとも考えられる。

図表 「十城万蓋」で選定されたパイロット都市



参考文献<sup>1)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

### 参 考

- 1) The Government's Grant Policy of LED Industry in China (Ting Kai Huang, Shenzhen Century Epitech LEDs Co., LTD)
- 2) 科学技術動向(2009 年 1 月号)  
[http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt094j/0901\\_03\\_featurearticles/0901fa01/200901\\_fa01.html](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt094j/0901_03_featurearticles/0901fa01/200901_fa01.html)

気相合成ダイヤモンドは、Si や SiC と比較して桁違いの絶縁耐圧を示し、半導体特性が得られることから、高出力で省エネルギーのパワーデバイス材料として注目されている。(独)産業技術総合研究所の研究グループは、種結晶からダイヤモンドウェハーを分離する技術を開発すると共に、同一の種結晶から成長させた複数のダイヤモンドウェハーを並べ、その上にダイヤモンドを成長させることにより、インチサイズの単結晶ダイヤモンドウェハーが得られることを実証した。

### トピックス 3 インチサイズの単結晶ダイヤモンドウェハーの作製技術

ダイヤモンドは、物質中最大の熱伝導率を持ち、絶縁破壊電界は、Si の約 100 倍、SiC の約 10 倍を示す<sup>1)</sup>。気相中で化学的に合成されたダイヤモンドは、硼素などの不純物のドーピングや表面を水素原子で終端することで半導体になる。これらの物性から、ダイヤモンドは高出力でかつ省エネルギーのパワーデバイス材料として注目されている。

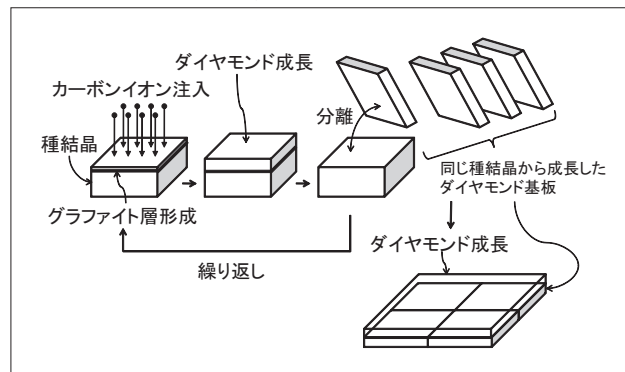
ダイヤモンドで半導体デバイスを作製するためには、現行のウェハープロセスへの適応が不可欠であり、最小でも 2 インチサイズのウェハーが必要である。しかしながら、これまでは、10mm 角程度の単結晶ダイヤモンド基板の作製が限界であり、インチサイズのウェハーは得られていなかった。

このたび、(独)産業技術総合研究所の研究グループは、インチサイズの単結晶ダイヤモンドウェハーの作製技術を発表した<sup>2, 3)</sup>。研究グループでは、種結晶からダイヤモンドウェハーを分離する技術を開発すると共に、同一の種結晶から成長させたダイヤモンドウェハーを複数個並べて、さらにその上にダイヤモンドを成長させることで、大面積のウェハーが得られることを実証した(図表 1)。

まず、高温高圧下で合成された市販の単結晶ダイヤモンド基板の表面から数  $\mu\text{m}$  の深さの領域にカーボンイオンを注入し、グラファイト層を形成した。次に、メタンと水素を原料ガスとするマイクロ波プラズマ化学気相合成法により、低圧下でダイヤモンドを種結晶上に、ホモエピタキシャル成長させた。続いて、グラファイト層を電気化学エッチングで除去して、気相合成ダイヤモンド層を種結晶からウェハーとして分離した。このように同一の種結晶基板上に気相合成した複数のダイヤモンドウェハーを並べ、その上に再度気相合成を行うと、ダイヤモンドウェハー同士が自然に結合し、より大きなサイズのウェハーが作製できた。これらの工程を繰り返す

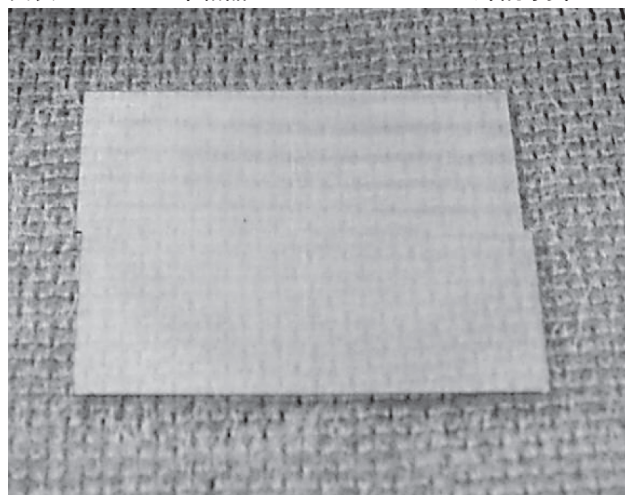
ことにより、さらに大面積の単結晶ダイヤモンドウェハーの作製も可能である。研究グループでは、現在 1 インチサイズのダイヤモンドウェハーの作製に成功しており<sup>3)</sup>(図表 2)、2012 年までにはウェハープロセスに適応可能な最小サイズである、2 インチウェハーの作製を目指すとしている。

図表 1 インチサイズの単結晶ダイヤモンドウェハーの作製方法



参考文献<sup>1)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 2 1 インチ単結晶ダイヤモンドウェハーの外観写真



出典: (独)産業技術総合研究所ダイヤモンド研究ラボ提供

#### 参考

- 1) 鹿田真一、「ダイヤモンドウェハーおよびパワーデバイスの開発動向」、電子材料、2010年9月号、P19
- 2) H. Yamada, et., al, "Developments of elemental technologies to produce inch-size single crystal diamond wafers", Diamond Relat. Mater., 20 (2011) in press
- 3) H. Yamada, et., al, "Fabrication of 1 Inch Mosaic Crystal Diamond Wafers", Appl. Phys. Express, 3, 051301 (2010)



(株)クリーンコールパワー研究所は、2010年11月、石炭ガス化複合発電(IGCC)実証プラントの運転試験の成果をまとめ、発表を行った。高い熱効率を特長とする石炭ガス化複合発電は、世界的にニーズの高い発電技術である。発電プラントに要求される運転信頼性や耐久性が検証され、熱効率も目標を上回る42.9%を達成した。

## トピックス4 石炭ガス化複合発電の実証試験

経済産業省の補助を受け、福島県いわき市で石炭ガス化複合発電(IGCC)実証プラントの設計・建設・運転試験を行ってきた(株)クリーンコールパワー研究所(電力会社による共同設立)は、2007年から2010年6月まで行われた運転試験の成果をまとめ、2010年11月、その目標達成に関するプレス発表を行った<sup>1)</sup>。

石炭ガス化複合発電は、高い熱効率を特長とし、供給安定性の高い石炭の利用と低炭素化を両立する世界的にニーズの高い石炭発電技術である。化学プロセスである石炭ガス化炉がガスタービン・蒸気タービンと統合された、高度な発電システムである。また、高温や磨耗などの点で使用条件が過酷で損傷を受けやすい機器が多いなど、無故障で長期安定稼働が要求される発電プラントにとっては難度が高い技術である。

実証試験の主な目的は、商用規模に近い発電出力250MWの実証プラント(図表)を用いて、「無故障で安定に稼働すること」と「高い熱効率」を実証することである。

運転試験の結果、2039時間(3ヶ月)の連続運転を達成した。これは、我が国のように逼迫した電力需要が連続し特に不測のトラブルが許されない夏季期間相当をクリアできることを意味し、安定運転の目安となる。また、商用運転に準じた年間延べ約5000時間の運転でも、大規模な設備改造を要する機器損傷等はみられないことを検証した。従来プラントと同様に1年ごとの開放点検・保守を適切に行うことにより、少なくとも3ヶ月程度の連続運転を含めて計画的に運転・停止できる見通しが得られ、発電プラントとして機能することが検証できた。熱効率(送電端)についても、目標を上回る42.9%を達成した。

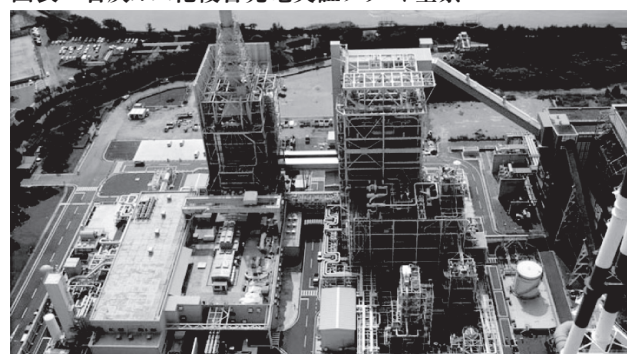
この結果より、すでに天然ガスの複合発電で実用化している大型・高温ガスタービンをを用いた500MW級

のプラントが設計・建設でき、商用プラントとして稼働できる見通しが得られた。この場合の熱効率は少なくとも48~50%となる。従来技術である微粉炭火力発電の熱効率は、小刻みな改良の末に42%程度で頭打ちの状態であるが、本技術はそれを飛躍的に上回ることになり、石炭ガス化複合発電商用プラントが導入されれば、微粉炭火力発電に比べ、同じ発電電力量(kWh)を得るのに排出されるCO<sub>2</sub>排出量が、一挙に2割近く減少する。

石炭ガス化複合発電技術の実証試験は、欧米よりも10年ほど開始が遅かったが、この成果により海外に誇れる水準に到達した。今後は国内はもとより海外への展開と温暖化対策への貢献が期待される。

さらに、今回の成果は、石炭ガス化複合発電だけでなく、石炭ガス化技術に立脚する次の世代のクリーンコール技術<sup>2)</sup>である石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)、コプロダクション、ゼロエミッション石炭火力発電などに向けた第一ステップが完了したという点でも意義がある。

図表 石炭ガス化複合発電実証プラント全景



出典：参考文献<sup>1)</sup>

### 参 考

1) (株)クリーンコールパワー研究所プレスリリース [http://www.ccpower.co.jp/press/pdf/101110\\_press.pdf](http://www.ccpower.co.jp/press/pdf/101110_press.pdf)

2) 「クリーンコールテクノロジーにおける高温型燃料電池の動向と展望」、科学技術動向 2006年11月号、No68、P9

# 廃プラスチック資源化の技術的展開と普及への課題

小寺洋一  
客員研究官

浦島邦子  
環境・エネルギーユニット

## 1 はじめに

廃棄物の資源化・利用は循環型社会の形成への中心的課題である。毎年1千万トン近く排出される廃プラスチックは、埋立て処分場の残余容量の急減と、焼却による二酸化炭素などの環境負荷物質発生を引き起こしている。

これに対し、日本では、2000年の循環型社会形成促進基本法の施行から10年を経て、容器包装・家電・自動車など各廃棄物のリサイクル法のもと、資源化率の向上とコスト削減の努力が各方面で継続して行われている。環境省は、環境・循環型社会・生物多様性白書(平成22年度版)で、資源循環の取組みや成果を紹介し、「環境産業が牽引する新しい経済社会」という新たな章も設けている。我が国の「固形廃棄物管理」の技術が先進諸国をリードすることを紹介するとともに、

経済成長に伴い廃棄物処理と資源化が喫緊の課題となっているアジアへの技術移転への期待が述べられている。また、2009年設立のアジア3R推進フォーラムでは具体的技術移転プロジェクトの実現を目指すとして、「静脈産業」の海外展開を推進している<sup>1, 2)</sup>。経済産業省産業構造審議会の議論でも、我が国が比較的優位となる海外移転可能な社会インフラの一つとして、廃棄物リサイクルをあげている<sup>3)</sup>。このように、我が国では、資源循環や低炭素社会を推進する法令や制度の整備とそれに適合した資源化技術の革新で「資源循環産業」を形成し、家電や自動車など廃棄物分野によっては海外展開を目指す段階に入った。

さまざまな廃棄材料の資源化が進む中で、廃プラスチックは金属

やガラスに比べ、組成・性状が複雑であるため、資源化コストが高く、得られる再生製品の市場価値も高いとはいえない。しかし、ここ2、3年、原油価格の高騰に起因する素材価格の大きな値上がりにより、多量に排出される廃プラスチックの資源化利用に関心が高まっている。特に企業にとって、レアメタル、鉄スクラップと並んでプラスチックは重要な資源化事業の対象となる。

「科学技術動向」では、これまでに素材産業が担うリサイクルの現状<sup>4)</sup>や、廃棄物の再生資源化技術<sup>5)</sup>について取り上げてきたが、本稿では近年素材価格の上昇により特に関心が高まっている廃プラスチックの資源化に焦点を当てて、その現状と課題、改善策について述べる。

## 2 廃プラスチックに関する現状

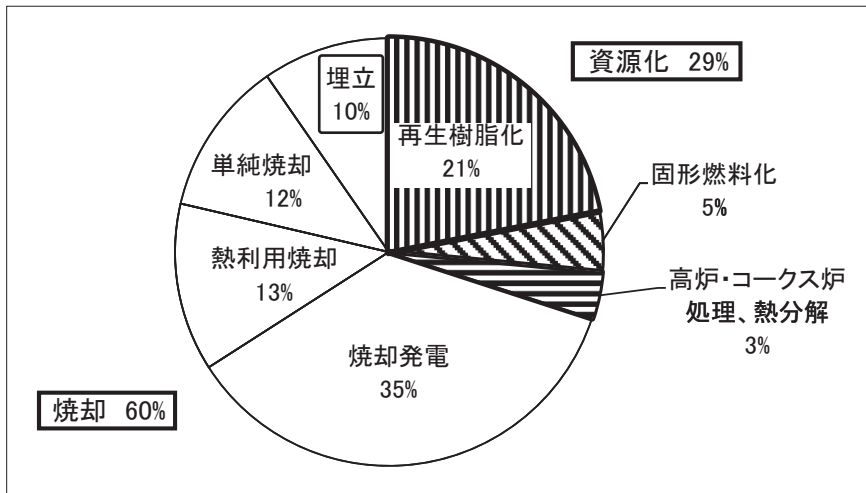
### 2-1

#### 廃プラスチック処理・資源化の現状

廃プラスチックは年間およそ1千万トン排出され、およそ半分が一般廃棄物(家庭や小規模事業所由来)、残りの半分が産業廃棄物である。汚染者負担の原則のもと、前

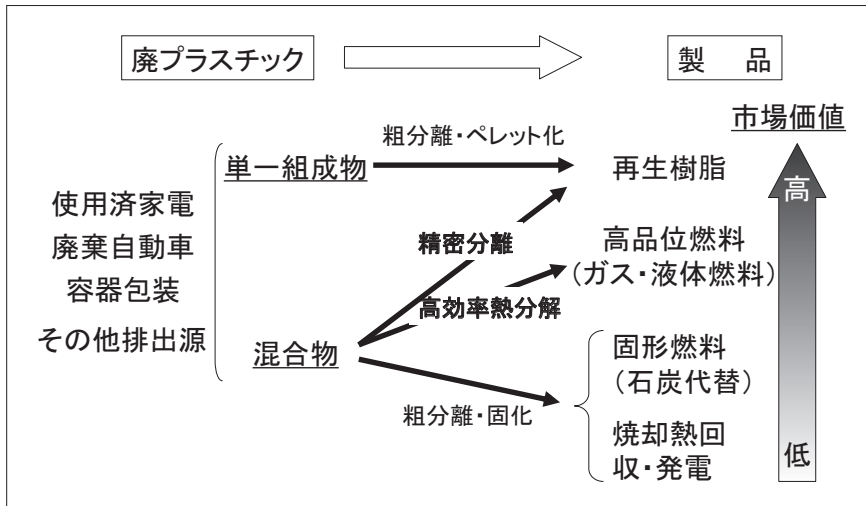
者は地方自治体が処理を行い、後者は排出企業が自社処理あるいは廃棄物事業者に委託し、処理している。図表1に各種方法で廃プラスチックが処理あるいは資源化さ

図表1 各種手法で処理・資源化される廃プラスチックの割合（2009年）



出典：プラスチック処理促進協会

図表2 廃プラスチック処理・資源化手法の選択



科学技術動向研究センターにて作成

れる割合をまとめた<sup>6)</sup>。ここで、熱分解は油化およびガス化を指す。

家電、自動車、容器包装などの工場廃棄物や流通、消費で生じる廃棄物中のプラスチックの種類や資源化不適物の含有率は、排出源により大きく異なる。資源化され再生樹脂化されたプラスチックは、安価な日用雑貨や産業資材として活用されるほか、繊維として寝具にも製品化されている。また廃プラスチックを木や紙と混合して固形化し、RPFと呼ばれる石炭代替燃料として、主として製紙工場の熱源として、石炭ボイラーで利用されている。その他、一般には化学リサイクルと呼ばれる熱分解による資源化が行われている。これは廃プラスチックを熱分解で他種

の化合物へと変換してから、その化学的性質や燃焼性を利用するもので、製鉄所のコークス炉や高炉での石炭代替利用、合成ガスの製造、油化して石油代替燃料として利用されている。

現在およそ3割にとどまる廃プラスチックの資源率を向上させるには、混合廃プラスチックへの技術的対応が不可欠である。また、すでに製造されている資源化製品については、品質を向上させる技術により市場価値を高める必要がある。

## 2-2

### 廃プラスチック処理・資源化手法の選択

プラスチック含有廃棄物の処理・資源化手法の選択の考え方を図表2にまとめた。廃プラスチックから得られる代表的な資源化製品は、再生樹脂と燃料である。法による資源化対象の廃プラスチックや資源化の手法の縛りがない限り、廃プラスチックの性状、資源化工程の難易、製品の市場価値(ユーザーの数や販売価格)に基づいて手法を選択することになる。法の縛りがある場合でも、低環境負荷と高い資源化率を目指して、資源化手法を慎重に選択しなければならない。

市場価値の高い製品に変換可能な成分が多量に含まれる場合に、資源化を実施する。多種のプラスチックが混合した廃棄物の場合、相溶性の悪い混合廃プラスチックから得られる再生樹脂は強度などに問題があり、成形品メーカーに受け入れられない。その場合は燃料化を選択することになる。最近、使用済み家電などの混合廃プラスチックの静電分離による樹脂種別ごとの精密分離法が実用化され、廃プラスチックが高品質の再生樹脂として活用できるケースが拡大している。固形、液体、ガスの各燃料化も技術的信頼性が実証され、特に固形燃料は石炭代替のボイラー燃料として製紙業界を中心に普及している。

## 2-3

### 資源化の問題点

#### 2-3-1 廃プラスチック資源化の高いコスト

図表1に示したように、廃プラスチックの総排出量の内、資源化



される割合はおよそ3割に留まっている。その理由は、自治体や産業廃棄物処理事業者に焼却や埋立てが認められている一方で、資源化しても排出者やごみ処理関係者に経済的メリットがないことと資源化コストが高いことが代表的な理由である。

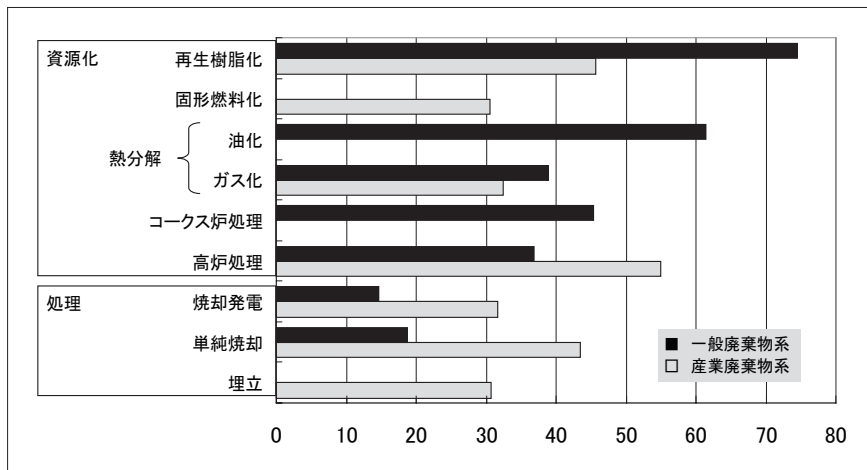
容器包装リサイクル法は、家庭から排出されるPETボトル、PET以外のプラスチック(容リプラ)、ガラスびん、紙からなるそれぞれの容器や包装材の廃棄物を資源化することを定めている。全国の自治体や一部事務組合1,800の内、容器包装プラスチックを分別収集する自治体は1,308、この内、容器包装リサイクル法に定める指定法人である(財)日本容器包装リサイクル協会(容リ協)に資源化を委託する自治体は、1,017、総容リプラ量は60万トンに上っている(平成20年度)。その分、毎年、省資源や省エネルギーが着実に実行されていることになる。

容リ協が資源化事業者に委託する資源化の経費は、プラスチック、PETボトル、ガラスびん、紙の総額で年間410億円(平成21年度)に上る。その経費は、拡大製造者責任や汚染者負担の原則から、プラスチックを使用した商品関連事業者、つまり、容器包装の製造、それを使った商品の製造、販売の各種事業者を経費を負担させており、最終的には消費者が負担している。容リ協の資源化経費の94%は、PETボトル以外の容リプラの資源化委託料であることから、その削減が大きな課題となっている。プラスチック商品関連事業者や消費者からは、低コストの資源化手法が強く求められている。

図表3に廃プラスチックの処理・資源化量を手法ごとに要する費用を一般廃棄物系プラスチックと産業廃棄物系プラスチックに分けてまとめた。産業廃棄物系廃プラスチックの排出企業が廃棄物処理事

図表3 各種手法による廃プラスチック処理・資源化費用  
適当なデータがない場合、費用を表示していない。

(千円/トン)



出典：一般廃棄物容リプラの各種資源化手法は、日本容器包装リサイクル協会資料<sup>8)</sup>。焼却発電、単純焼却は環境省検討会資料<sup>9)</sup>。産業廃棄物の処理・資源化手法は、プラスチック処理促進協会資料<sup>7)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成。

業者に支払う平均的な処理委託費は40千円/トンである<sup>7)</sup>。一般廃棄物では、施設整備の国庫負担もあることから焼却費用は低額である。これに対し、一般廃棄物として自治体が家庭から分別回収する容リプラの再生樹脂化費用は74.5千円/トンであり、資源化容易な廃プラスチックを原料とする産業廃棄物系プラスチックの再生樹脂化や他の処理・資源化手法に比べ、著しく高額である。

環境上の効果とコストを考えたときに、再生樹脂製造の優先が適切な制度なのか、またコスト優先の資源化手法選択でもよいのか、製造者責任のあり方、社会コストの削減の観点、他の低コストな資源化手法を採る事業者の事業拡大とも関わって、プラスチック関連商品事業者、資源化事業者、消費者団体、自治体関係者、学識経験者などを巻き込む大きな議論となっている<sup>10)</sup>。

一方、家電と自動車に由来する廃棄物では、容リプラほどは高コストを批判する声はない。この分野では、金属やガラスといった、技術的にも事業的にも比較的にリサイクルしやすいものと、廃プラスチックや有害危険物などがともに処理対象となっている。一般家庭

のユーザーが小売店にリサイクル料金を支払う点、製造業者やその委託を受けた資源化事業者が廃棄物を引き取り、処理困難な廃棄物の適正処理と資源化を同時に実施する点が、容器包装と異なる。家電リサイクルでは、使用済家電の処理は製造事業者と連携した資源化事業者の責任であり、自治体の負担軽減につながるとともに、資源化事業者が事業者数や地域ごとに適正に配置され、一定量の廃棄物を確保できる仕組みとなっている。また、資源化事業者で得られたリサイクルに関する知見は、製造業者における製品の環境配慮設計にもフィードバックされている。

## 2-3-2 資源化手法選択の難しさ

廃プラスチック資源化の目的は、廃プラスチックの単純焼却や埋立てを減らし、プラスチック成分を循環利用し、社会における新たな資源投入を低減することにある。資源化手法の選択は、一線の廃棄物事業者だけでなく、容器包装プラスチックの資源化など、法令で資源化手法を規定する場合にも合理的判断が求められる。

資源化手法の優劣は、社会で使われている資源が廃プラステッ



ク由来の資源化製品で代替された量で判断できる。また、その資源化製品の製造に費やされた資源量も勘案する必要がある。これは従来、LCA（Life Cycle Assessment）やLCC（Life Cycle Costing）により評価されてきた。

廃プラスチックから特定の種類の再生樹脂を製造する場合、その再生樹脂を製造する装置やシステムの電力や燃料の消費をもとに、製造手法の優劣を比較することは容易である。しかし、廃プラスチックからは、再生樹脂以外にも固形・液体燃料、合成ガス、製鉄用還元剤などが製造される。このように異なる製品の省資源の効果を比較するには様々なルールを設定する必要がある、評価は単純ではない。そこで、評価の目的に応じて様々な判断基準を統合した処理・資源化手法の評価方法が提案されている<sup>11～13)</sup>。

資源化手法の選択の代表的な基準を図表4に示した<sup>14, 15)</sup>。資源対象が可能な原料廃プラスチックの種類の多寡、資源化コスト、二酸化炭素排出削減効果、そして代替対象となる資源の種類と価格をまとめた。

再生樹脂製造の場合、製品樹脂の色や強度に著しく影響する汚れ品、複合物が含まれない熱可塑性のプラスチックのみが、資源化対象原料となる。混合廃プラスチックについては高速で高精度な異物分離が必須で、資源化の生産効率とコスト上の障害となる。工場の特定の工程から排出される汚れの少ない廃プラスチックの場合、異物分離工程が省略できる分、資源化コストが低い。さらに、価格の

図表4 資源化手法の優劣の判断基準例

資源化手法	資源化可能な原料の多寡	資源化コスト	二酸化炭素排出削減効果	代替による経済的メリット(代替対象の価格例、千円/トン)
再生樹脂化	△	△(工場排出品) ×(容リプラ)	○ △	◎ ○(ポリエチレンやポリプロピレン100～150)
固形燃料化	◎	○	◎	△(一般炭10)
熱分解油化	○	△	○	○(重油や軽油70)

科学技術動向研究センターにて作成

高いプラスチックを代替できるという点で価値が高い。

容リプラの場合、分離不可能な複合物や混合物が多量に含まれ、異物分離により資源化コストが高い上に副生する残渣量も多く、再生樹脂化で得られる製品価値も低い。容器包装リサイクル法では、容リプラについて、現在再生樹脂の製造が運用上、優先的に実施されている。また、この法律ではコークス炉や高炉での処理や固形燃料の製造により石炭を代替する方法や油化やガス化も資源化手法として認められている。再生樹脂製造や油化はいずれも石炭に比べ枯渇性の高い石油資源の省資源であり、これを勘案した資源化手法の優劣も考えられる。

固形燃料は、廃プラスチックの高い発熱量を利用し、石炭同等の発熱量の燃料として調製したものであり、製紙工場の石炭ボイラーなどで利用されている。資源化コストは25千円/トンほどである。発熱量の低いバイオマスからユーザーの要求に合う発熱量の燃料を製造する一方、バイオマス燃焼が二酸化炭素発生量に算入されないため、廃プラスチックを固形燃料に使用した場合の二酸化炭素排出の削減効果は高い。また10千円/トンと安価な石炭の代替であり、

石油や天然ガスの代替に比べると経済的効果は大きいとはいえないが、ユーザーにとっては、石炭よりもクリーンな燃料を3千円/トン程度で安価に入手できるメリットがある。

熱分解によって、重油や軽油の代替の液体燃料や天然ガスやLPG代替のガス燃料を得ることができる。廃プラスチックが排出される地域で広く利用され、しかも価格変動の激しい燃料資源を代替することができる。再生樹脂製造に不適な汚れ品や複合物など、より広い範囲の原料を対象に資源化できるが、装置価格や安全性確保の理由により、資源化コストは高い(およそ80千円/トン)。油化装置は30年ほど前から1トン/日ほどの小型プラントが開発、商業運転に至ったが、大型(～40トン/日)では原料廃プラスチックの確保、そして小型では事業採算性に苦しむ。採算ラインと試算される5トン/日程度でも、導入可能な安価な脱塩素プロセスや、伝熱性能の高い低エネルギー消費の装置の開発が重要な課題となっている。

最近、関連する技術が相次いで事業化が実現した1)と3)の技術的概要を次章にまとめた。

### 3 廃プラスチック資源化技術の進展

#### 3-1

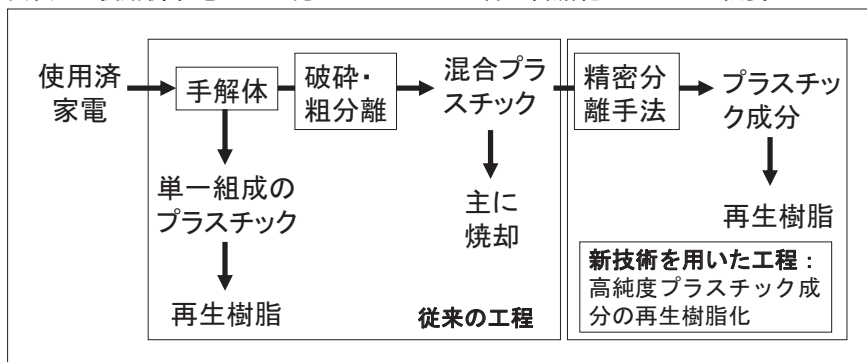
#### 水平リサイクルを可能にする 再生樹脂化技術

使用済みの家庭電化製品は、家電リサイクル法のもとで回収・資源化されている。品目ごとに資源化率が定められており、たとえばエアコンでは重量の70%以上とされ、こうした規定により電機メーカー側の資源化の容易な製品設計や素材の選択が進んでいる。図表5に、使用済家電からの廃プラスチックの再生樹脂化プロセスの概要をまとめた。

使用済み家電は、商品価値が高い金属をリサイクルすることによって資源化率を達成する一方で、プラスチックについては手解体し目視で区別しやすいプラスチックを分け再生樹脂に利用していた。また混合状態で排出されるプラスチックは、再利用する用途がないため、焼却等で処理されていた。家電リサイクル法で規定される資源化率は随時引き上げられることから、資源化事業者側では、定められた資源化率を上回る実績を達成するため、より精度の高い素材回収と回収物の用途の拡大への努力を続けてきている。

これまで電機メーカーは家電、電子電気機器を問わず、部材の一点一点に厳しいコスト低減の努力を重ねている。特に石油価格の変動に影響され難い廃プラスチックの利用には積極的に取り組んでいる。いくつかの家電メーカーは、プラントメーカーや各種資源化事業者と連携し、混合廃プラスチックを構成する各種プラスチックの新たな分離選別手法を開発し、資源化事業者で精密に分離された回

図表5 使用済家電からの廃プラスチックの再生樹脂化プロセスの概要



科学技術動向研究センターにて作成

図表6 代表的な廃プラスチック成分の分離手法<sup>16, 17)</sup>

手 法	主な機器形式	特 徴
ふるい法	回転円筒(トロンメル)と振動させた平面ふるいの2形式。	粗分離法の一つで、大小の形状により分離。
比重法	分離媒体の違いにより風力選別、固気流動層分離、湿式比重分離。	風力選別では、一定の気流により、対象成分を分離。固気流動層分離では、気流で流動層化した珪砂等の粉体を用い、湿式比重分離では、比重液との比重差を利用して成分を分離する。
分光法	プラスチックごとの近赤外光などの反射散乱光のスペクトルの違いをセンサーで検出。	ベルトコンベア上を通過する特定のプラスチックを検出し、コンベア末端でエアジェットを用いて、他から分離する。
静電法	プラスチック粉砕物を帯電させ、直流高電圧を印加した平板や回転ドラムで荷電に応じて分離。	精密分離法の一つ。比重差で分離できない2種のプラスチックを帯電の差を利用して分離できる。

科学技術動向研究センターにて作成

収プラスチックの商業的利用を拡大し始めた。回収されたプラスチックは、物性や外見に難があってもよい低機能部材としての利用(カスケード利用)のみならず、新たな分離技術を採用して、強度等への要求性能が高い外装材や重要部品へ利用するという、いわゆる水平リサイクルの道が開けた。

混合廃プラスチックは従来、焼却し熱利用する以外に用途がほとんどなかった。資源化施設に入ってくる使用済家電に含まれるプラスチックの種類や量は製造事業者側で把握されており、また使用済家電の種類や解体工程は資源化事業者側で管理されている。したがって、手解体で分別し切れなかった混合廃プラスチックの組成に合った成分分離手法があれば、一定品

質の再生樹脂を相当量確保できる。

図表6に廃プラスチックの主な分離手法をまとめた。風力選別は大きさや形状が様々な混合ごみから廃プラスチックを分離する有効な粗分離手法である。得られた混合廃プラスチックから特定の種類のプラスチックを分離回収することで、価値の高い再生樹脂が得られる。また従来、湿式比重分離や分光法が利用されてきたが、新たにプラスチックの粉砕物に対して、より正確に種類別の分離可能な静電分離法が開発された。

あらかじめ微粉にしたプラスチックを帯電させ電界場に投入すると、静電力により帯電プラスチック粉がプラスチック種別により異なった向きに飛翔し、分離が可能になる。この原理を使って開発された

のが静電分離装置である(図表7)。この装置は次の3つの領域からなる。

1. 領域Ⅰ：あらかじめ10mm以下に破碎され、比重分離などで2種にまで分離分別されたプラスチック粉同士を摩擦帯電させた後、回転ドラムに定量供給する。
2. 領域Ⅱ：直流高電圧を印加した静電界場で帯電プラスチック粉をその種類で分離する。
3. 領域Ⅲ：分離されたプラスチック粉が区分された容器に導入される。

使用済家電由来の廃プラスチックをまず風力選別と比重選別を施して、その結果得られたABS樹脂とポリスチレンの混合物からポリスチレンは、回収率88%、純度99%で分離された。また、より複雑な混合廃プラスチックからのABSの回収について、従来の比重分離に静電分離を組み合わせることで、ABS純度99%台の結果が得られ、バージン品とほぼ同様な用途への利用が可能となった<sup>18)</sup>。同様な技術で、三菱電機は家電リサイクル拠点で発生する年間1万トンの廃プラスチックについて、従来6%程度だった社内利用再生樹脂を2011年以降70%に増やすと発表、2010年6月には当該技術を導入した使用済家電のプラスチックリサイクルを主な事業内容とする新工場を開所した<sup>19)、20)</sup>。

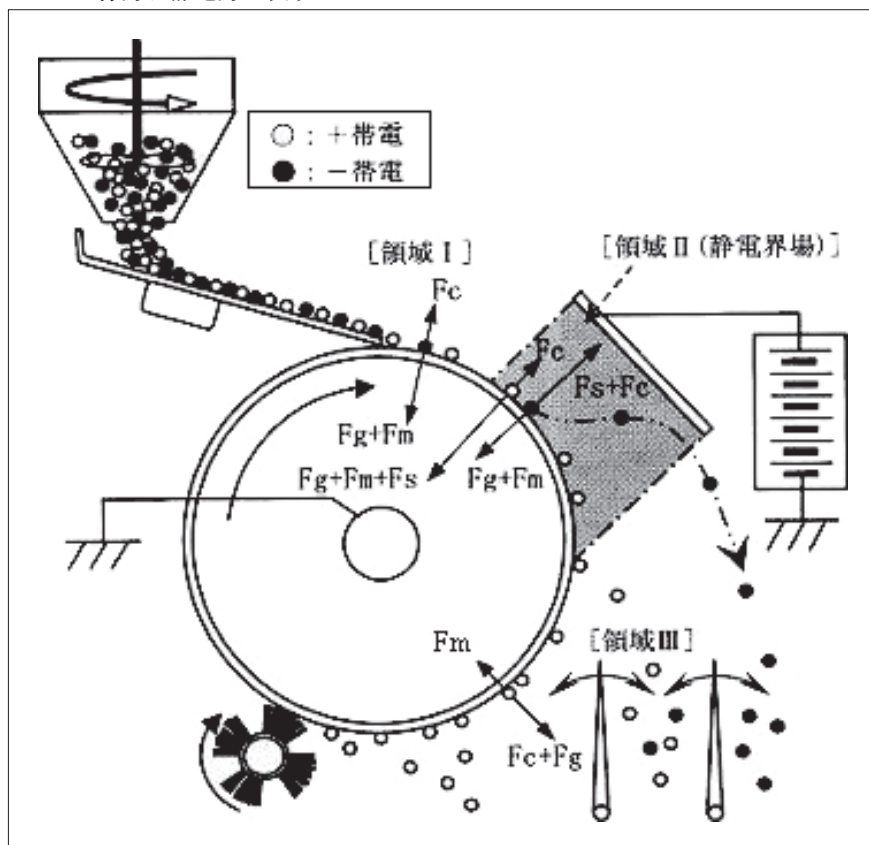
## 3-2

### 固形燃料化

燃料化は、再生樹脂として利用できない混合物や、汚れの多い廃プラスチックにも適用できる資源化技術である。燃料に要求される重要な性能は、高い発熱量と清浄な排ガスである。固形燃料は、製

図表7 静電分離装置の原理

$F_c$ 、 $F_g$ 、 $F_m$ 、 $F_s$ はそれぞれプラスチック粒子に働く遠心力、重力、鏡像力、静電力を表す。



出典：日立造船(株)資料<sup>18)</sup>から許可を得て転載

## 3-3

### 高品位燃料製造のための熱分解技術

重量当たりの発熱量の点からは、固形燃料よりも廃プラスチックの熱分解で得られる液体燃料やガス燃料が有利である。熱分解の過程で含塩素プラスチックなど燃料化不適成分を効果的に除去して、高品位燃料を製造するための新たな熱分解技術の開発が重要な課題である。特に家庭から排出される廃プラスチックについては、含塩素プラスチックの混合は以前から問題となっており、その技術的対策が油化コスト上昇の原因の一つであった。含塩素プラスチックは加熱により塩化水素を発生し、装置を腐食させるばかりでなく、共存するオレフィン系炭化水素化合物と化合し、有機塩素化合物を生成



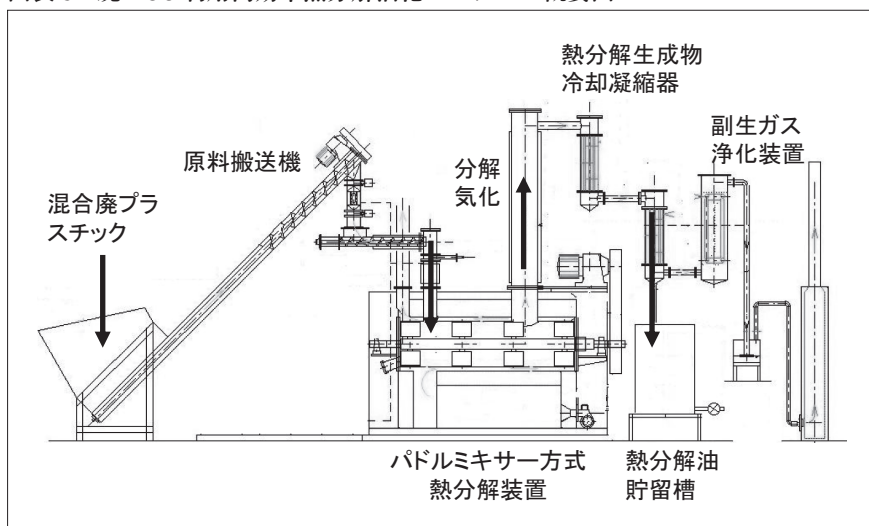
する。その結果、得られた炭化水素油を燃料として燃焼するとダイオキシン類の発生を招いてしまう。また硬質のポリ塩化ビニルは、比重分離や光学選別(分光法)で比較的容易に分離できるが、分離装置の導入コストの問題や分離困難な含塩素ラップフィルム(主にポリ塩化ビニリデン)の混入を防ぐことは、実務上困難とされている。

家庭から排出される分別プラスチックを対象に、脱塩素と油化を同時に実施できる5トン/日の小規模熱分解油化システムが、2010年10月、福岡県の廃棄物事業者により商業運転が開始した。図表8は商業システムの概要図である。これは、北九州市立大学の基本技術を基にしており、石油精製で使

用した廃FCC触媒と消石灰を廃プラスチックに混合して熱分解するシステムである<sup>21)</sup>。通常の熱分解油化は500～550℃で行うのに比べ、本装置では約100℃低い温度で熱分解できた。また、分解油中の塩素残留も従来技術の3分の1から5分の1以下の120ppmに低下した。

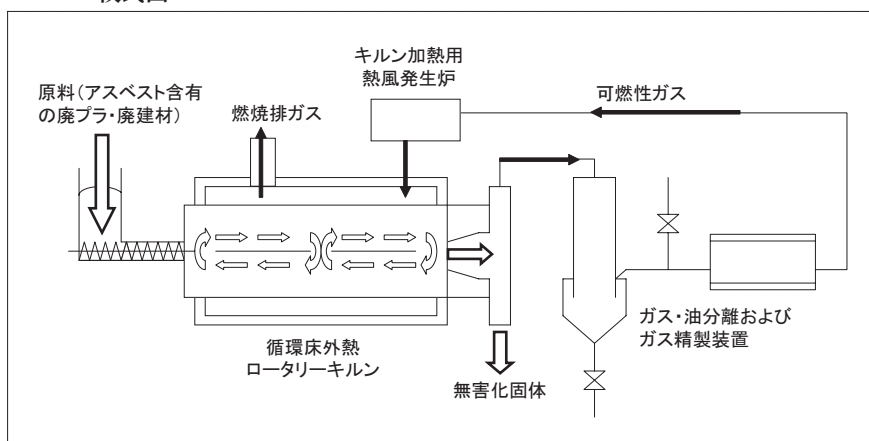
廃プラスチックの円滑な分解油化には、触媒と廃プラスチックの混合が重要である。従来の商業的油化がタンク式熱分解装置を採用してきたのに対し、固形物の攪拌効率が優れたパドルミキサー式を利用した初めての商業油化施設である。また、この形式の装置を利用することで、含塩素プラスチックから生成する塩化水素を消石灰と効果的に反応させ、炭化水素油中での有機塩素化合物の生成を防ぐことが可能となった。処理能力10kg/hのベンチプラントを用いた実験では、一般廃棄物分別プラスチックの塩素含有率(1～3%)を大きく上回る20%の塩素含有率の原料プラスチックに対して、脱塩素率は99%以上を保持することができた。今後は、長期間運転における分解油中の塩素残留率データ

図表8 廃FCC利用高効率熱分解油化システムの概要図



出典：(株) エクアール提供資料を編集

図表9 廃プラスチック由来のガス燃料を利用したアスベスト無害化システムの模式図



出典：(株) オストランド提供 C-Power プラント資料を編集

の解析が待たれる。

廃プラスチックから得られる熱分解ガスは、固形燃料や液体燃料よりも、燃焼時の排ガスが清浄とされ、燃料としての価値が高い。アスベスト剥離工事で排出されるアスベスト含有廃建材とアスベスト付着廃プラスチックの双方を対象とするアスベスト無害化処理技術の開発の中で、廃プラスチックの小規模ガス化の実証研究が行われた。10トン/日以下の小規模熱分解ガス化システムの商業化を前提に、その10分の1の量1トン/日スケールのシステム運転が実施された。このシステムでは、溶融促進剤の併用により、溶融に1500℃以上必要なアスベストを750℃前後で溶融させ、無害化して

いる。

図表9に示すように、本実証で用いた装置は、循環移動床型の外熱ロータリーキルンで、廃建材中のアスベストとアスベスト除去工事で多量に排出されるプラスチックシートに付着したアスベストとともに無害化するとともに、ポリエチレンを主成分とするプラスチック成分を効率よくガスへと熱分解するものである。さらに、得られる熱分解ガスを燃料としてアスベストの加熱無害化とプラスチックの熱分解に利用するシステムである。

処理対象は、アスベスト含有の廃建材(50重量%)、アスベスト付着廃棄ポリエチレン(47.5重量%)、および溶融促進剤(2.5重量%)の混



合固化物である。この固化物を循環床外熱ロータリーキルンで約750℃に加熱することで、ポリエチレンから熱分解ガスを製造し、これをロータリーキルンに供給し燃料として利用した。加熱の初期にはLPGを供給し、ポリエチレン由来の熱分解ガス生成後は、これをキルン加熱用の燃料とした。そして固形残渣、熱分解ガスおよびその燃焼排ガス、少量副生する熱分解油について、アスベストが全く残留していないことを確認した。また、得られる熱分解ガスの燃焼

熱量は、廃建材の加熱やプラスチック熱分解ガス化に必要な熱量を上回り、エネルギーの自給が可能であることが明らかとなった。

熱分解ガスの組成は、水素 26.0、メタン 25.4、エチレン 21.4、一酸化炭素 5.7、二酸化炭素 4.7（単位体積％）であった。装置の加熱に用いなかった残りのガスは貯蔵して、例えばガスエンジンを利用し発電など他の用途に利用することも可能である。

廃プラスチックを液体やガス燃料とするのではなく、水素源や炭

化水素資源として活用する化学原料転換技術は以前から注目されてきた<sup>24)</sup>。今回のガス化システムは、ガス化溶融炉による水素やメタンの製造<sup>25)</sup>、および二段ガス化炉による水素と一酸化炭素を主成分とする合成ガスへの転換<sup>26)</sup>など、従来のガス化技術の商業化事例（ともに反応温度1300～1500℃）に比較して、700～800℃というより温和な条件で水素の他、メタンやエチレン等炭化水素ガスの取得が可能になったという技術的意義がある。

## 4 廃プラスチック資源化の普及に向けて

### 4-1

#### 資源化の拡大に向けた技術戦略

経済産業省の研究開発戦略をまとめた技術戦略マップ(2010年版)<sup>27)</sup>では、今後、廃プラスチック3R分野で必要な技術として、廃プラスチックの資源化技術、リユースやリデュースに配慮した製品設計や低環境負荷の素材開発などの技術が幅広くまとめられている。図表10はその内、代表的な資源化技術の開発戦略についてまとめたも

のである。

この技術戦略マップから、今後の廃プラスチック資源化技術の見通しは次のように要約される。

#### 1) 高度な分離プロセスと装置による再生利用

水平リサイクルを念頭に、家電や自動車は易解体・易分別設計で製造し、解体過程で分離できない混合廃プラスチックについては、高度な分離技術で種類別に徹底した資源回収を行う。

#### 2) 高分子材料への酸化防止剤の添加などコンパウンド技術による再生利用

回収されたプラスチックは、劣

化の度合いに応じて添加剤を加え、強度や耐久性を増した上で、性状により高品質部材への水平リサイクルや低級部材へのカスケードリサイクルを実施する。

#### 3) 効率的な熱分解プロセスと装置による再生利用

再生樹脂については、高品質な製品化、再生樹脂化困難な混合廃プラスチックについては、クリーン燃料や化学原料の製造を可能にする油化・ガス化の熱分解技術の高度化が重要である。

### 4-2

#### 廃プラスチックの性状に対応した資源化技術の革新

廃棄素材のリサイクルを検討する上で、廃プラスチックは紙、ガラス、金属など他の廃棄物と比較して、排出元の業種やプラスチックの用途ごとに組成や性状の違いが大きく、資源循環の対象の拡大や製品の市場価値の向上につながる技術革新が必要である。また廃プラスチックの処理・資源化において、環境負荷の低減と社会コス

図表10 廃プラスチックの重要な資源化技術の開発戦略

技術区分	技術項目	開発時期			
		短期 2010	2015	中長期 2020	2030
再生樹脂化 分離分別技術	家電・自動車等のプラスチック種類別分離・分別(水平リサイクル)	既存樹脂 新プラスチック対応			
	塗装プラスチックの塗料剥離				
	高付加価値製品へのアップグレード再生技術				
素材技術	劣化の検出・再生技術	自己再生			
熱分解 熱分解技術	燃料変換技術(メタン、水素等製造)				
	油化、化学原料化技術				
その他 容器包装対策	高度リサイクルシステムの開発				

出典：経済産業省技術戦略マップ2010<sup>27)</sup>を基に作成

ト・事業コストの削減の両立が求められる。

廃プラスチックの資源化率を向上させるには、混合廃プラスチックを低コストで市場価値の高い製品へと資源化することが重要である。前章で述べた精密分離と高効率な熱分解はその有効な技術である。これらの技術を適用してもコストに見合う市場価値を有する製品が得られない場合は、固形燃料製造や焼却熱回収・発電を選択することが適当である。容リプラは、含塩素や含窒素プラスチック、金属箔など再生樹脂化に適さない成分を多く含む混合廃プラスチックである。その有効な活用につながる新技術が必要とされている。

#### 4-2-1 分離技術の高度化

廃プラスチックの資源化は、国内資源の一つとして、資源化可能な対象廃棄物の拡大と資源化製品の市場価値の向上により、石油や素材価格の高騰に耐えうる企業活動の一助となる。家電や自動車では、ABSやPOMなど高機能プラスチックも多用され、製造企業側での廃棄時の易分別設計と併せて検討することが重要で、資源化事業者側は一層の資源化率向上と回収プラスチックのクローズドリサイクルの確立が必要であり、これは資源化事業者と製造企業の共通の課題となる。そのためにも混合廃棄物からの異種プラスチックの種類別分離、メッキ品や塗料コート品を対象にした分離技術の一層の高度化が求められる。

#### 4-2-2 相溶化技術の確立

混合廃プラスチックを精密に分離して単一素材にすることで物性を向上させるのとは反対に、相溶剤により異種プラスチックの混合

を助け、均一化する技術も必要とされている。相溶剤を添加することで、分離困難な混合した廃プラスチックや複合素材の廃プラスチックであっても一定の用途に利用できる強度その他の物性が得られれば、製品の再生樹脂の市場価値を高め、廃プラスチック利用の拡大につながる。

容リプラに含まれる相溶性の低いポリスチレンやPET成分をポリエチレンやポリプロピレンに可溶化する技術が重要である。一部の産業用プラスチックフィルムや容器包装プラスチックのように積層フィルムが多用された廃プラスチックについては再生樹脂製品の品質向上のため、コンパウンドメーカーやコンバーターなどプラスチック加工メーカーにおける相溶化技術の一層の高度化が必要である。

#### 4-2-3 燃料や化学原料への熱分解技術の高度化

経済合理性の許す範囲で再生樹脂として利用できない廃プラスチックは、燃料や化学原料への変換が資源化の選択肢である。そのための基本技術が熱分解である。資源化製品ユーザー側で求めるクリーン燃料や化学原料を製造する上で、プラスチック分解の制御技術に新たな展開が不可欠である。前章にまとめたパドルミキサー方式の分解油化や外熱ロータリーキルン方式のガス化では、いずれも日量数トンの小型低コストの装置を利用する点で、廃棄物の収集規模に合わせた規模で事業化の見通しがついたことを意味する。従来のタンク方式に比べ、構造上、触媒の利用が容易で、分解油の沸点制御、ガス生成物の組成制御など分解制御技術の高度化が期待でき

る。

二酸化炭素排出削減を目指す国内クレジットJ-Ver<sup>注)</sup>の認定対象として、廃プラスチック等の油化やガス化が加えられた<sup>28, 29)</sup>。焼却処分の多い廃プラスチックを石油系燃料、LPGや天然ガスに代替利用する熱分解技術の高度化で、廃プラスチックの高品位燃料としての利用が格段に普及することが見込まれる。

廃プラスチックは、地域内で収集できる量は必ずしも多くはない石油化学工業のように大量生産で大量に使用する用途には向かないと考えられる。だが、塗料や添加剤など機能性化学薬品の原料など少量小ロットで利用する用途は検討の価値がある。

## 4-3

### 資源化推進への体制作り

廃プラスチックは資源化の高いコストや製品の市場価値が低いなどの課題が指摘される一方、資源価格の高騰で廃棄物資源としての価値が高まっている。混合廃プラスチックを対象とした精密分離や熱分解技術に新たな技術が芽生え、これをもとにした再生樹脂の水平リサイクルや低コストの高品位燃料が実現しつつある。廃プラスチック資源化率の向上に向け、精密分離や熱分解といった新技術のさらなる展開、そして廃棄物の排出の実状、法令や制度、技術、資源化製品の利用を整合させる面で国や地方自治体、廃プラスチックの製造や利用に関わる企業の責任と役割は大きい。

容リプラのように資源化困難な未活用資源の場合、市場経済のも

注：オフセット・クレジット(J-VER)制度は、国内の温室効果ガス排出削減・吸収量をカーボン・オフセットに用いるためのクレジットとして認証するため、平成20年11月に創設されたもの。

とでは有効に資源化できないため、法や制度のもとで国が関与して実施する必要がある。環境負荷削減と省資源・省エネルギー、これに費やす社会コストのトレードオフ、資源循環産業の育成などが関係し、資源化手法の選択は複雑な問題を含んでいる。現在、環境省や経済産業省は利害関係者や有識者による検討を進める他、海外の最新状況など各種調査、広く市民団体や個人からのパブリックコメントを求め、社会的合意形成に取り組んでいる。

廃棄物の処理と資源化は、多数の要素技術を組み合わせたシステム技術であると同時に多数の利害関係者を巻き込む社会基盤の形成の取組みである。企業ごと自治体ごとの廃棄物資源の活用には限界がある。廃棄物の発生は、市民生活、商工業、流通、建築解体、農水産業、など各業種にまたがることから、行政がイニシアチブをとりながら企業同士や官民が連携した資源化事業を一層推進するが必要である。資源化製品も業種を越えた利用を図らねば、資源循環の取組みは進

まない。国や各種研究支援組織には、ものづくり技術と同様、この分野の新たな技術の育成、支援を求めたい。さらに国や地方自治体、廃棄物処理・資源化事業者の現場に直結した支援やその体制づくりや地域の実情に合った支援を推進することが、資源化技術の普及と資源化率の向上に不可欠である。

廃プラスチックの処理・資源化は、社会的責任の意識が高く経済的負担に耐える大企業が関わる家電・自動車だけではなく、中小企業も多く、海外も含め多数の企業が関係する容器包装、日用雑貨に幅広く分布する。また排出者は、製造業の企業、流通・小売業、一般消費者と様々である。廃棄物事業者や資源化事業者は、企業規模や収益性などから、製造業と異なり、廃棄物処理・資源化技術の開発にまでは手が届かない。地方自治体や国の試験研究機関はプラントメーカーや廃棄物事業者と連携のもと、実用性の高い技術の開発が求められる。

廃棄された家電や自動車の処理・

資源化技術は、関係の製造企業が社会的責任を具体的に果たすことで実用となり、一部の技術は海外にまで技術移転をめざす段階になっている。有機合成や材料化学の発展と並行して多くの有用な高分子材料が製造されてきたが、一旦廃棄物になったときには焼却や埋め立てに頼ってきた。新規化合物については、その有害性データが物質安全性データシート(MSDS)として報告される。プラスチック材料メーカーには、新材料の開発と同時に適切な低コスト低環境負荷の処理や、資源化の手法を併せて考案することを求めたい。その技術は、新たな事業を生み出す可能性を秘めている。プラスチックの物質フローの上流に位置する石油化学やプラスチック製造企業、そして研究機関には、廃棄物処理・資源化を実施する国内外の企業や自治体において、低コストで環境上効果的な処理と資源化が実施されるよう技術の高度化への取組みを期待する。

## 参考文献

- 1) 「日系静脈産業メジャー育成・海外展開促進事業」、環境省資料  
<http://www.env.go.jp/guide/budget/h23/h23-gaiyo-2/052.pdf>
- 2) 「日系静脈産業メジャー育成・海外展開促進事業～廃棄物処理・リサイクルシステムをパッケージとして海外展開～」、環境省資料  
[http://www.env.go.jp/guide/budget/h23/h23-seisaku\\_pc/mat03.pdf](http://www.env.go.jp/guide/budget/h23/h23-seisaku_pc/mat03.pdf)
- 3) 経済産業省 産業構造審議会貿易経済協力分科会インフラ・システム輸出部会資料(参考文献<sup>2)</sup>参照)  
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/data/g100805aj.html>
- 4) 竹内正雄、素材産業が担うリサイクルの現状とその制約要因、科学技術動向 2009 年 2 月号  
[http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt095j/0902\\_03\\_featurearticles/0902fa01/200902\\_fa01.html](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt095j/0902_03_featurearticles/0902fa01/200902_fa01.html)
- 5) 川本克也、循環型社会に求められる廃棄物の再生資源化技術、科学技術動向 2007 年 12 月  
[http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt081j/0712\\_03\\_featurearticles/0712fa01/200712\\_fa01.html](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt081j/0712_03_featurearticles/0712fa01/200712_fa01.html)
- 6) 2009 年プラスチックのマテリアルフロー図、(社)プラスチック処理促進協会  
<http://www.pwmi.or.jp/flow/flame01.htm>
- 7) 「平成 18 年度 産業系廃プラスチックの排出、処理処分に関する調査報告書」、p.87 (社)プラスチック処理促進協会、2007 年 3 月
- 8) 「再生処理委託事業者による落札単価の経年推移」、(財)日本容器包装リサイクル協会、平成 22 年 4 月 16 日



- 9) 「メタン発酵施設と焼却施設のコスト比較等」、生ごみ等の3R・処理に関する検討会参考資料、平成18年3月2日  
[http://www.env.go.jp/recycle/waste/conf\\_raw\\_g/06/ref01.pdf](http://www.env.go.jp/recycle/waste/conf_raw_g/06/ref01.pdf)
- 10) 例えば、産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会容器包装リサイクル小委員会（平成22年2～6月）の議論を参照  
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/k\\_6.html#recycle](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/k_6.html#recycle)
- 11) 田中勝 他、循環型社会評価手法の基礎知識、技報堂出版
- 12) 松藤俊彦、都市ごみ処理システムの分析・計画・評価、技報堂出版
- 13) 永田勝也ら、Best Available System  
<http://www.nagata.mech.waseda.ac.jp/research/image/2008/01tlca.bas.pdf>
- 14) 小寺洋一、「廃プラスチックの燃料化技術とその課題」、科学と工業、82、63-80（2008）
- 15) 小寺洋一、Mushtaq A. Memon、「廃プラスチック燃料化技術の選択に関するガイドライン」、化学工学論文集、36、212-221（2010）
- 16) 廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック、産業技術サービスセンター、2000年
- 17) 「技術分野別特許マップ」、機械 23、形状選別、特許庁ホームページ  
[http://www.jpo.go.jp/shiryou/s\\_sonota/tokumap.htm#1](http://www.jpo.go.jp/shiryou/s_sonota/tokumap.htm#1)
- 18) 安藤太郎、井上鉄也、プラスチックリサイクルに関する合同講演会予稿集、2009.11.20
- 19) 「日本初の大規模・高純度プラスチックリサイクルを開始」、三菱電機（株）ニュースリリース、2008年8月20日  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news-data/2008/pdf/0820-apdf>
- 20) 「拡大する再生プラスチック」、日経エコロジー 2010年12月号
- 21) 芳賀裕之、谷春樹、藤元薫、「廃FCC触媒を用いる廃プラスチックの連続分解油化の開発」、プラスチックリサイクル化学研究会第11回討論会予稿集、p.7、2008年
- 22) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構委託事業、「アスベスト削減技術戦略ロードマップローリング及び俯瞰調査」、平成21年度成果報告書、p.124-125、神鋼リサーチ、2010年9月
- 23) 小寺洋一、坂本佳次郎、関口秀俊、「廃プラスチック由来の燃料ガスによるアスベスト溶融無害化プロセスの開発」、イー・コンテクチャー、2010年9月号、p.66-70、日報アイ・ビー
- 24) 活動報告書、「プラスチック廃棄物の新しいケミカルリサイクル法の提案」、(財)化学技術戦略推進機構、平成13年5月
- 25) 竹下宗一、「廃自動車シュレッダーダストのガス化」、プラスチックの化学再資源化技術、第4章10.、pp.149 - 160、シーエムシー出版、2005
- 26) 亀田修、「廃プラスチックの加圧二段ガス化技術」、プラスチックの化学再資源化技術、第4章9.、pp.142 - 148、シーエムシー出版、2005
- 27) 「技術戦略マップ2010」、経済産業省、2010年6月14日  
[http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu\\_kakushin/kenkyu\\_kaihatu/str2010.html](http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2010.html)
- 28) 「オフセット・クレジット（J-VER）制度における対象プロジェクト種類の追加について」、環境省報道発表資料（平成22年10月22日）  
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13057&mode=print>
- 29) 「熱分解による廃棄物由来の油化燃料・ガス化燃料の利用」、環境省報道発表資料、添付資料2（平成22年10月22日）  
[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=16419&hou\\_id=13057](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=16419&hou_id=13057)



---

## 執筆者プロフィール

---



### 小寺 洋一

科学技術動向研究センター 客員研究官  
(独) 産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 主任研究員  
<http://staff.aist.go.jp/y-kodera/>

博士(環境科学)。石炭液化や廃プラスチックガス化研究に携わる。UNEP との活動や産業構造審議会の討議で、人や地域に寄り添い支える、地に足のついた廃棄物処理・資源化の法や制度と技術の必要性を痛感している。



### 浦島 邦子

科学技術動向研究センター 環境・エネルギーユニット 上席研究官  
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003 年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。

# 排出量取引を利用した 二酸化炭素回収・貯留技術の促進について

有村 俊秀  
客員研究官

前田 征児  
客員研究官

和田 潤  
環境・エネルギーユニット

浦島 邦子  
環境・エネルギーユニット

## 1 はじめに

地球温暖化対策のために、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出削減が世界的な課題になっている。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次報告書<sup>1)</sup>によると、産業革命以降の世界の気温上昇を2度程度に抑えるためには、世界の温室効果ガスの排出量を2050年時点で2000年の実績から50～85%削減することが必要とのシナリオが示されている。我が国においては、地球温暖化対策基本法案で、1990年比で2020年までに25%、2050年までに80%削減するという高い目標が掲げられている。我が国は過去2度のオイルショックを契機に徹底したエネルギーの効率改善に努めてきた結果、世界に冠たる省エネルギー国家を築いてきた成果として、ほかの先進国に比較してCO<sub>2</sub>の排出原単位が低い。しかし裏返していえば、エネルギーの効率向上という従来手法の延長では、さらなるCO<sub>2</sub>の削減余地は少ないことを意味する。従って、日本が今後のCO<sub>2</sub>排出を削減するには、従来の技術革新だけでは不足であり、排出量取引といったような仕組みも利用しなければならない。そのため、国内のみならず、日本の技術を海外展開して、海外で

の削減に寄与することが必要である。

海外での削減が日本の削減につながる仕組みとして利用されてきたのが、クリーン開発メカニズム(Clean Development Mechanism: CDM)という排出量取引の制度である。CDMとは、京都議定書で定められた、先進国が開発途上国での温室効果ガス排出削減プロジェクトを実施して削減に寄与した場合に、その削減分を自国の削減クレジットとして排出権に加えることができるという仕組みである。一般に、発展途上国では生産や電力供給などで効率化が進んでいないことが多いので、我が国で定常的に行われている技術を発展途上国に技術移転するだけでも、大幅なCO<sub>2</sub>排出削減に貢献できる。これは日本国内ではあまり期待できないCO<sub>2</sub>削減効果を、日本の技術によって海外で削減でき、削減した分は日本のものとしてカウントできることから、削減余地の少ない我が国にとっては、きわめて有用な制度である。

このような背景のもと、CDMの制度は、日本企業も利用してきた。しかし、これまでのCDMによる削減量は、当初期待されていたほ

ど多くなかったことが分かってきている。その理由は、これまで実施されてきた多くのプロジェクトが小規模であり、多数のプロジェクトを実施しても、全体としての削減量が大きくならなかったことにあった。よって、このようなCO<sub>2</sub>を削減する「仕組み」に技術を融合させて、より効率よく海外でのCO<sub>2</sub>を削減する手段が必要となってきた。そこで、この「仕組み」と「技術」の両方を可能とするのが、このCDMを利用した二酸化炭素回収・貯留技術(以下、「CO<sub>2</sub>回収・貯留技術」とする)の実施である。

CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は、燃焼排ガス中、あるいは化石燃料の採掘時に化石燃料に随伴して発生したCO<sub>2</sub>を大気中に拡散させないように分離・回収し、地中深くに末永く貯留する技術である。本技術を利用すれば、例えば1年に100万トンというような大量のCO<sub>2</sub>を貯留することも可能である。これは、これまでの平均的なCDMプロジェクトに比べ、10倍程度大規模な排出削減量である。

CO<sub>2</sub>回収・貯留の実施においては、貯留地の確保という課題がつきまとう。この点において、我が国に大量のCO<sub>2</sub>の貯留に適した地

層がどれくらい存在するかは不透明である。そこでインド・中国・インドネシア・ブラジル等の貯留ポテンシャルが高いとされている国で、我が国のCO<sub>2</sub>回収・貯留技術をCDMと組み合わせて実施できれば、この懸念が払拭される。

また、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術を実用化しようとしている企業からも、CDMの適用は切望されている。CO<sub>2</sub>回収・貯留は、大気に放出していたCO<sub>2</sub>を分離回収・貯留する過程で、新たに大掛かりな設備やエネルギーの追加投入が必要であり、ひいてはそれが供給エネルギーや工業製品の大幅なコストアップを招くという問題がある。つまり、CO<sub>2</sub>回収・貯留は技術開発だけで

は普及が難しい技術である。CDMという排出量取引の制度により対価性のある排出権が獲得できる仕組みが整って、はじめて普及の可能性が出てくる。

CO<sub>2</sub>回収・貯留技術への、CDM適用は、長年議論されながら認められてこなかった。それは、環境影響・安全性に対する懸念が残っていたことと、監視・記録・検証技術が確立していなかったという技術的な問題点が残っていたためである。CO<sub>2</sub>回収・貯留がCDMとして認められれば、既存プロジェクトへ投資が減るのではないかと懸念が、現在のCDMのホスト国となっている国にあったとされている。しかし、2010年12月

にメキシコのカンクンで開催されたCOP16において、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術がCDMで適格であることが合意され、環境整備は開始されつつある。今後、技術上と実務上の課題が解決されれば、CDMプロジェクトとしてのCO<sub>2</sub>回収・貯留が本格的に実施できるようになると期待される。

こうしたことから、本稿では現在はまだCDMプロジェクトとしては、緒についたばかりのCO<sub>2</sub>回収・貯留技術の現状と課題を分析し、CDMを利用したCO<sub>2</sub>回収・貯留を実現するために、今後なすべきことを提言する。

## 2 CO<sub>2</sub>回収・貯留技術の現状と課題

### 2-1

#### CO<sub>2</sub>回収・貯留技術を推進する意義

##### (1) CO<sub>2</sub>回収・貯留技術への期待

CO<sub>2</sub>の削減に寄与できる技術を大別すると、原子力・再生可能エネルギーの普及や各種省エネルギー技術の導入などのように「化石エネルギーの使用量削減を通じて、CO<sub>2</sub>の排出削減を図る」というアプローチのほかに、「発生したCO<sub>2</sub>を隔離することによって大気中のCO<sub>2</sub>濃度の上昇を防ぐ」というアプローチがある。CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は、燃焼排ガスの中、あるいは化石燃料の採掘時に化石燃料に伴って発生したCO<sub>2</sub>を選択的に抽出し、地中深く帯水層に圧入し永く貯留する技術である。この種の諸技術の中でも、CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルが最も大きいとされ<sup>2)</sup>、国際的に重要な技術と位置づけら

れている。国際エネルギー機関(IEA)の技術開発ロードマップ<sup>3)</sup>(図表1)によれば、2050年に、新興国を中心とするエネルギー需要の爆発的な増大に打ち克って、なおCO<sub>2</sub>の排出量を半減させることは、かなりハードルが高い。我が国が誇る省エネ技術の移転や原子力・再生可能エネルギーの導入をしても到底達成はできない。そこで、CO<sub>2</sub>削減量の約2割をCO<sub>2</sub>回収・貯留技術に求めている。

近年、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術が重要視されるようになってきた大きな要因として、次の2つが挙げられる。

第一に、地球温暖化問題がより喫緊の課題になり、即効的に大量のCO<sub>2</sub>の削減効果が得られる技術が求められるようになった。以前のCO<sub>2</sub>貯留は、油勢の衰えた油田に注入して油の粘度を下げた流れやすくし、石油の増産とCO<sub>2</sub>の貯留を兼ねて行う原油増進回収(EOR)が中心であった。しかし、昨今ではCO<sub>2</sub>の排出削減のみを主

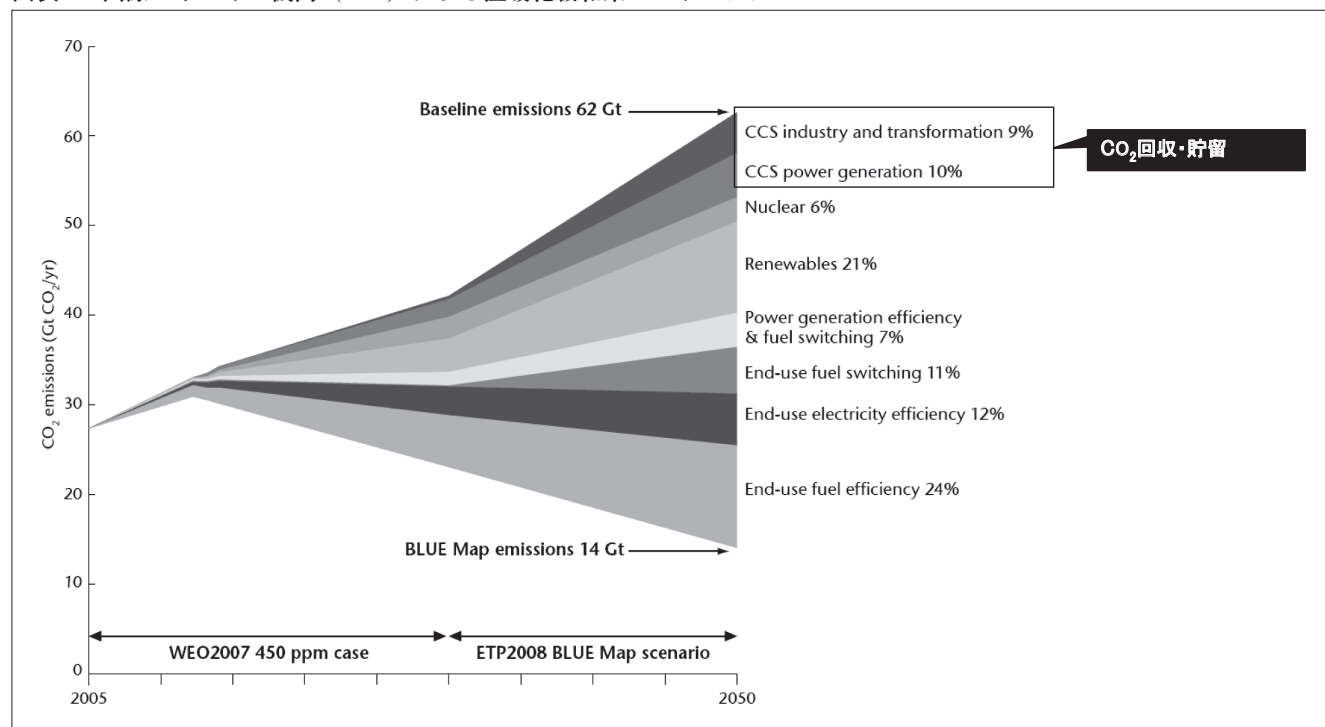
目的としたCO<sub>2</sub>貯留に本腰を入れざるを得なくなった。

第二に、以前から削減ポテンシャルが大きいとされていた「CO<sub>2</sub>海洋貯留技術」、すなわちCO<sub>2</sub>をハイドレートやドライアイスに転化して海底や海底下に投入する、あるいは海水への溶解を目的として気体のまま海中に吹き込むことが、2006年のロンドン条約96年議定書改定によって、「海洋投棄」とみなされ、国際法上実施が難しくなったと考えられる<sup>4)</sup>。同条約では同時に、CO<sub>2</sub>回収・貯留を目的とした海底地層へのCO<sub>2</sub>ガスの投入が、禁止対象から外されることが明確に定められた<sup>5)</sup>。この結果、CO<sub>2</sub>の大量の隔離方法は、事実上、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術に収斂したといえる。

##### (2) CO<sub>2</sub>回収・貯留技術の有効性

CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は、エネルギー資源の中で最も豊富で地域偏在が少なく供給信頼性の高い「石炭」<sup>6)</sup>の利用と温暖化対策を両立さ

図表1 国際エネルギー機関（IEA）による温暖化緩和策ロードマップ

出典：参考文献<sup>3)</sup>

せることができる技術である。

化石燃料の中で、石炭は、資源量が豊富で産出国の分布が特定の地域に偏らず、安価に入手が可能であり、先進国・途上国を問わず最も供給安定性の高いエネルギー資源であるが、同時にCO<sub>2</sub>排出原単位が大きく、環境負荷が大きいのが欠点である。そこで、石炭をクリーンかつ高効率に利用する各種技術を総称して「クリーンコール技術」と呼び、それらの開発が国内外で盛んに行われている。本誌では過去に、クリーンコール技術全般<sup>7)</sup>、石炭ガス化燃料電池複合発電<sup>8)</sup>、鉄鋼業における低炭素化<sup>9)</sup>についてそれぞれ詳述している。それらの記述に共通した課題は、CO<sub>2</sub>を最終的に適切に隔離・貯留する過程にある。

また、石炭をガス化し、「水蒸気改質」と呼ばれる触媒反応を行うと、高濃度のCO<sub>2</sub>と水素を含むガスとなる。この触媒反応を用いれば、CO<sub>2</sub>を分離・回収でき、しかも水素を主成分とする燃料ガスの製造を兼ねて行うことができる。製品水素を「燃料電池自動車

(FCV)」等に供給すれば、輸送部門の低炭素化が図られる。また、CO<sub>2</sub>の分離・回収も、燃焼排ガスから分離・回収する過程と比べるとCO<sub>2</sub>分圧が高いことから、より効率的であるといえる。

CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は、経済活動(Economy)、環境(Environmental Protection)およびエネルギー安全保障(Energy Security)の“3E”を同時に達成する技術であることから、先進国・新興国にかかわらず重要な戦略技術と捉えられている。

## 2-2

### 我が国における これまでの取り組み

2008年3月、経済産業省は、世界全体の温室効果ガスを現状に比して2050年までに50%削減することを目標に「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」<sup>10)</sup>を発表した。その中で、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は「重点的に取り組むべきエネルギー革新技術」21テーマの1つに挙げ

られている。

さらに、2010年6月に閣議決定された「新成長戦略」においては、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は、「環境・エネルギー大国戦略」の中で、前倒し・重点化する革新的技術開発の1つに位置づけられた<sup>11)</sup>。

我が国では、1990年に設立された(財)地球環境産業技術研究開発機構(RITE)が、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術の要素技術から調査などを一貫して行っている。中でも2000年度から2004年度まで新潟県長岡市の岩野原地点で行われた、1万tのCO<sub>2</sub>を貯留する実証試験は、国内では最大級であった。地中のCO<sub>2</sub>の監視(モニタリング)は現在も続けられ、二度の大地震(新潟県中越地震、日本海中越沖地震)でも、貯留されたCO<sub>2</sub>は健全状態を維持していることが確認されている<sup>12)</sup>。

このような国のCO<sub>2</sub>回収・貯留技術開発推進に呼応する形で、2008年5月、電力・石油および石油開発・エンジニアリング等の、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術各分野の専門技術を有する大手民間会社が出資し、日本CCS調査株式会社を設立



## 2-4

CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の  
商用化に向けた技術課題

CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術は、燃焼ガスの中から CO<sub>2</sub> を抽出する分離回収技術、貯留場所まで CO<sub>2</sub> を輸送する輸送技術、井戸を掘削する土木技術、貯留に適した場所を探索する探査技術など、多くの要素技術から構成される。また、化学工業・鉱山・土木など広範な産業分野にまたがり、さらに CO<sub>2</sub> の発生源である発電や製鉄などの産業分野にも深く関連する総合技術といえる。CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術を構成する要素技術の一部には、実用化済みあるいは類似実績のある技術もあるが、CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の商用化を図るためには下記のような4つの大きな課題が残されている。

## (1) 安全性の確保と事前評価技術の確立

CO<sub>2</sub> 回収・貯留を行う際のリスクとして、地中の CO<sub>2</sub> が大量漏洩して、地表に到達した場合に酸素欠乏や中毒などの健康被害を引き起こしたり、地表に到達しなくとも地下水の水質や水位に影響を及ぼしたりすることが想定される。

CO<sub>2</sub> は、7.4MPa 以上、31℃ 以上で、超臨界状態という液体か気体か区別のつかない状態の流体となる。CO<sub>2</sub> は、ちょうどこの超臨界状態にまで昇圧され、地下の帯水層へ圧入される。帯水層は、CO<sub>2</sub> を透過させない2層の遮蔽層(キャップロック)に挟まれた、砂岩など岩石と地下水が混合した地層である。CO<sub>2</sub> は、高圧による膨張力で周囲へ拡散しようとするが、拡散を阻止するような抵抗を受けて、少しずつ CO<sub>2</sub> の充填領域が拡大してゆくにすぎない。二次的な貯留メカニズムとして作用するものは、具体的には、キャップロッ

した。これは、世界初の民間の CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の統合会社である。今後の実証試験候補地である苫小牧沖や北九州の海底下帯水層の詳細調査や、磐城沖天然ガス採掘跡への CO<sub>2</sub> 回収・貯留のフイージビリティスタディ (FS) を行っている。

そのほか、電源開発(株)等の企業グループが、豪州で日豪共同の CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の実証試験を行っている<sup>13)</sup>。そのほか、各種研究機関や民間企業などによって、CO<sub>2</sub> 回収のための要素技術の開発が行われている。

経済産業省は、2009年8月、CO<sub>2</sub> 回収・貯留の大規模実証試験の安全な実施にあたるガイドラインとして、「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」<sup>14)</sup>を公表した。その中で、関連する適用法規や安全実施にあたっての圧入前後のモニタリング等に係る考え方を整理している。

## 2-3

## 海外における動向

世界最大規模の CO<sub>2</sub> 回収・貯留プロジェクトとしては、1995年に始まったノルウェーの Sleipner プロジェクトが有名である。これは燃焼由来の CO<sub>2</sub> ではなく、掘り上げた天然ガスを精製して分離回収した CO<sub>2</sub> を貯留するプロジェクトである。ノルウェーと英国のちょうど中間点に位置する北海中央の海上プラットフォームから、直下の地層に CO<sub>2</sub> を圧入している。年間 100 万 t のペースで、これまでに累計 1100 万 t を貯留し、貯留した CO<sub>2</sub> は数 km の範囲に拡散していることが確認されている<sup>15)</sup>。

2009年4月、EU は CO<sub>2</sub> 回収・貯留に関する法的枠組みを定めた「CCS 指令」を発布した。同時に、300MW 以上の新設火力発電所に

対し、CO<sub>2</sub> 回収設備が設置可能なスペースを確保しておくことを義務化する指令も出した。2009年11月にイギリスがそれに基づいた国内法を制定した<sup>16)</sup>。一方 EU では、欧州エネルギー(経済)回復計画(The European Energy Recovery Programme, EERP)による6つの CO<sub>2</sub> 回収・貯留プロジェクトが進行している。

自国に豊富な石炭資源を持つ米国では、2010年8月、エネルギー省から官民合同による FutureGen2 と称するプロジェクトによる実証試験の実施決定が発表された<sup>17)</sup>。これは、イリノイ州の発電所にある 200MW の微粉炭ボイラに、CO<sub>2</sub> の分離・回収設備とパイプラインを新設し、年間 100 万 t の CO<sub>2</sub> を地中に貯留するプロジェクトである。それとは別に、複数の CO<sub>2</sub> 回収・貯留実証試験プロジェクトの準備も進められている。オバマ大統領は、CO<sub>2</sub> 回収・貯留プロジェクトを円滑に導入するための省庁横断のタスクフォースを設置し、2010年8月には CCS 商業実証プロジェクトに着手するために必要な措置をまとめた答申が行われた。また環境保護庁は、周辺の飲料水保全に関する規制を含めて、監視・記録・検証に関して規制を明確にし、CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の普及に向けた法的整備を進めている。

中国でも、複数の地点で自国技術による CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術開発が行われているほか、昨今では諸外国との共同プロジェクトが盛んで、EU、英国、米国、IEA などが次々に中国との共同開発や資金協力を始めている<sup>18)</sup>。逆に、中国で開発された低コストの CO<sub>2</sub> 分離回収技術を米国に導入しようという動きもある。韓国でも、将来の海外ビジネスを視野に、2016年の実証試験、2020年の商用化を目指して関係省庁が連携して開発を支援している<sup>19)</sup>。

クに行く手を阻まれる「構造トラップ」、地下水に溶解するときに生ずる密度増加による「溶解トラップ」、鉱物と化学反応して安定した炭酸化合物となる「鉱物トラップ」などがある。

この緩慢な拡散現象を、既知の特性データをもとに、短期的には圧入期間に対して、長期的には1000年オーダーで予測することを、CO<sub>2</sub>回収・貯留における予測評価シミュレーションという。しかし、予測評価シミュレーションが正しいかどうかは、実際にCO<sub>2</sub>を圧入してから少なくとも数年間その挙動を監視(モニタリング)し比較してみなければ、推測できない。

環境影響評価や安全確保の評価に際して、想定しうる限りのリスクアセスメントを事前に行うことは当然であるが、実証試験では想定外事象も起こりうる。社会から信頼を得るためには、航空・原子力などの技術が新規に導入されたときと同様に、地道に無事故実績を積み重ねること以外に方法はない。またその過程で経験される小さなトラブルをもとに対策技術を蓄積し、大事故を回避しようとする取り組みが必要である。具体的には、地質の異なるいくつかの地点で段階的にスケールアップを図りながら実用規模の実証試験を行うことが必要である。

安全性の確保と事前評価に関しては、現在はまだ実証試験の開始段階である。

## (2) 監視・記録・検証技術の確立

CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は、CO<sub>2</sub>を地中深くに末永く貯留しようとする技術であるから、圧入中および圧入終了後の地下でのCO<sub>2</sub>の挙動を監視し、CO<sub>2</sub>の地上への漏洩の兆候が見られないことを監視することは非常に重要である。CO<sub>2</sub>の監視には、地表等で行う地震探査法・重力探査法などの遠隔・非破壊計測、圧入井の周囲に多数の観

測井を掘って行う温度・圧力・地下水の電気抵抗測定あるいは弾性波トモグラフィー・電磁波トモグラフィーなどの計測手法が用いられ、各種手法による分析結果の比較が行われている。また、2次元および3次元のCO<sub>2</sub>分布マップを作成し、その変化の追跡調査が行われている。

監視技術は、実際のCO<sub>2</sub>貯留の現場でなければ開発あるいは検証できないため、国内外の実証試験の中で開発している段階にある。そこで、少なくとも複数の代表的な地質による特性を検証しておく必要がある。商用化に至るまでに、多様な地点での実証試験を行い監視技術を確立してゆくことが求められる。

一方、一国の温暖化ガスの総排出量を算定する上で、回収・貯留したCO<sub>2</sub>の量を国際的に公平な方法で認証することが求められる。特に、CDMが排出量の売買に関係するため、貯留量を正確に把握することが重要になる。CO<sub>2</sub>回収・貯留の成果としてのCO<sub>2</sub>排出削減量を適切に認証するためには、監視(Monitoring)に加え、記録(Record)、検証(Verification)技術も必要になる。それらを総称して「MRV技術」という。

ノルウェーのSleipnerプロジェクトに関する報告によると、これまでのところCO<sub>2</sub>の漏洩の前兆を遺漏なく把握するという目標の観点で見ると、地震探査法から作成したCO<sub>2</sub>分布マップは、予測シミュレーションと比較的よく整合している結果となっている。しかし、地下のCO<sub>2</sub>貯留量に関しては、CO<sub>2</sub>分布マップから求めた値と実際に圧入した量との間に2割以上の乖離があり<sup>20)</sup>、精度という点ではまだ課題が残っている。

## (3) 経済性の問題

CO<sub>2</sub>回収・貯留は、CO<sub>2</sub>を大気に拡散させない代償として、新た

に大掛かりな設備やエネルギーの追加投入が必要となる技術であるため、経済性が常に問題視されてきた。

RITEの試算例によれば、新設大型石炭火力発電所(発電出力870MW)で年間100万tのCO<sub>2</sub>を分離回収し20km離れた帯水層に貯留する場合のコストは、CO<sub>2</sub>1トンあたり約7,300円とされている<sup>21)</sup>。これは、2010年12月現在の欧州でのCO<sub>2</sub>排出量取引価格10～15ユーロ/t(約1,100～1,700円/t)に比べるとはるかに高い。石炭火力発電のコストは6円/kWh程度だが、CO<sub>2</sub>回収・貯留コストを転嫁した場合には12円/kWh程度になり、倍増するとの試算がある<sup>22)</sup>。

CO<sub>2</sub>回収・貯留の価格競争力向上に向けて、RITEのロードマップでは、コストのうちの半分以上を占める分離回収工程(約4,200円/t)を1,000円台にまで引き下げることを目標としている<sup>23)</sup>。

また、前述の経済性試算は、新設大型石炭火力発電プラント1基の排出CO<sub>2</sub>のうち、2割程度を分離回収して20km先に貯留するという仮定によるもので、分離回収量も少なく輸送距離の短い好条件のもとでの試算である。実際には、さらに立地条件が劣るケースにおいても、CO<sub>2</sub>回収・貯留のトータルコストをほかの温暖化対策諸技術に伍するような水準にまで下げる努力が求められると考えられる。

## (4) 我が国の貯留適地の不透明さ

RITEによれば、我が国のCO<sub>2</sub>貯留ポテンシャル量は、陸域・海域(海底下)合わせて約1,460億tとされている<sup>24)</sup>。2006年の年間排出量13.4億tに対しては100年分以上のポテンシャルである。ただし、それは資源の「賦存量」に相当するような、ある仮定のもとでの物理的容量の概算値であり、資源の「可採埋蔵量」に相当するような、ある



## 2-5

## 海外展開の必要

程度経済的に貯留可能な容量とは異なる。一般的には、1箇所には大量のCO<sub>2</sub>が貯留でき、かつ注入レート(トン/年)を大きくとれる地質条件を持つ1箇所であることが望ましい。

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)によれば、国内で確認された 構造的な帯水層として有望な地層は、陸域・海域合わせ 29 箇所、合計容量は約 15 億トンと見込まれている<sup>25)</sup>。1 箇所平均では約 5 千万トンとなるが、詳細な調査を行って見ないと、各々の貯留可能量や許容注入レートは実際にはわからない。

一方、CO<sub>2</sub>の大規模排出源である石炭火力発電所では、発電出力 1000MW のプラント 1 基から、年間約 500 万トンの CO<sub>2</sub>が発生することから、上記の 1 箇所の CO<sub>2</sub> 平均貯留容量は、1000MW の石炭火力発電プラント 1 基の 10 年分に相当する。国内には現在、主力の発電出力 500MW ～ 1050MW の石炭火力プラントが計 40 基あり、1000MW 機と 1050MW 機だけでも 12 基ある。従って、環境省の中長期ロードマップに示された「2050 年に、火力発電所から排出された CO<sub>2</sub> はほぼ回収され、地中等に隔離」<sup>26)</sup>というシナリオを実行

しようとする、有望な地点が 29 箇所あったとしても、10 年程度で満杯になってしまうことが予想される。もし仮に、このような有望な地点と同等以上の容量や許容注入レートを持つほかの適地が矢継ぎ早に見つからない場合、その後は次第に CO<sub>2</sub> 貯留容量の少ない地点が残ることになるが、それらは CO<sub>2</sub> 貯留量あたりの井戸の掘削費用が高く、経済性の面で不利である。

長岡・岩野原の実証試験の地点は、キャップロックがドーム状に褶曲していて上方・側方に CO<sub>2</sub> を堰き止める背斜構造となっており、CO<sub>2</sub> の貯留にとって最も望ましい形状であるが、我が国ではこのような地層は少ない<sup>27)</sup>うえ、地震国ゆえに CO<sub>2</sub> 漏洩の懸念がある断層が多いなど、不利な条件が重なっている。

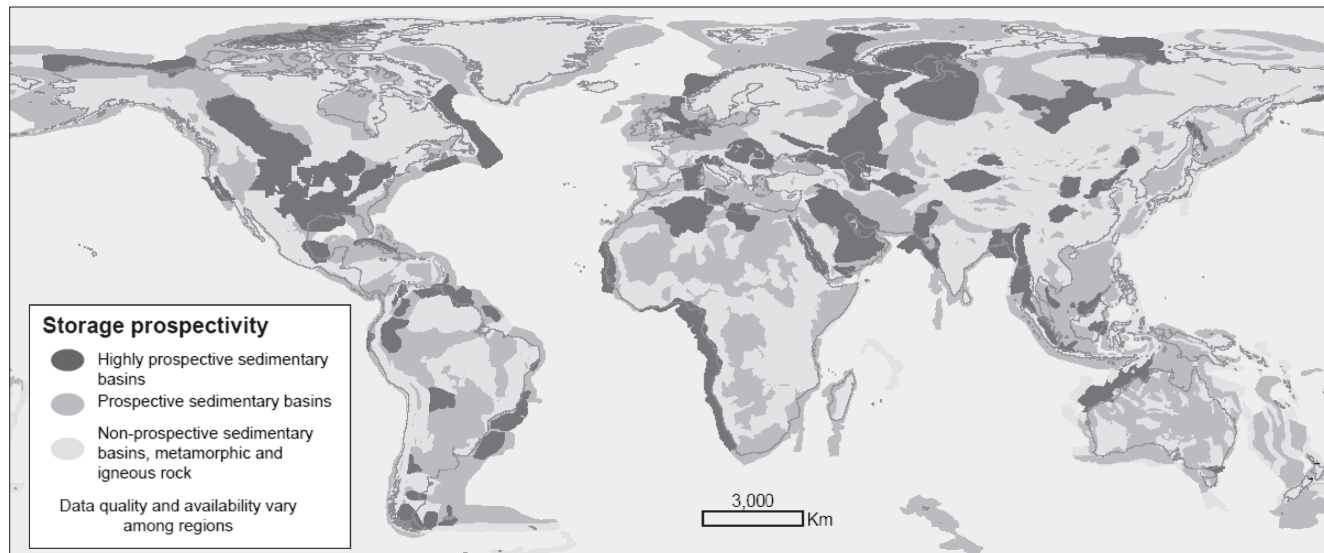
貯留容量や注入レートは、いろいろな地層での実証試験の経験を重ねないとわからない部分も多いことから、現在のところ国内では大量の CO<sub>2</sub> の貯留適地は不透明といわざるを得ない。

前述したように、我が国では大規模な貯留適地の確保が不透明であり、それが原因で将来的に貯留コストがますます増大することも予想される。それに対して、海外には、貯留ポテンシャルに富んだ地点が多いと推定されている(図表 2)<sup>28)</sup>。RITE によれば、世界の CO<sub>2</sub> の地下貯留のポテンシャルを 26 兆トン(炭素換算で 7.1 兆トン)<sup>29)</sup>と推定している。

我が国の CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の展開を考えると、国内で発生した CO<sub>2</sub> を海外の地層に貯留する海外展開の必要性が浮かび上がる。国境を越える廃棄物の移動を規制する「バーゼル条約」によれば、CO<sub>2</sub> は現在のところ対象物質となっていない。従って、国内で発生した CO<sub>2</sub> の海外移動は、国際関係上は問題がないと思われる。しかし、CO<sub>2</sub> を海外に持ち出す際に新たな CO<sub>2</sub> が発生し、またコストがかさむことは明白である。

CO<sub>2</sub> が発生する国に関わらず、等しく地球温暖化に影響することを勘案すると、国内で発生した

図表 2 世界の CO<sub>2</sub> 貯留ポテンシャルの推定



出典：参考文献<sup>28)</sup>



CO<sub>2</sub>を海外の地層に貯留するよりも、海外で発生したCO<sub>2</sub>を我が国の技術をもって現地で回収・貯留する方が合理的な方策と考えられる。この際、京都議定書に規定されたCDMの排出量取引の制度に基づき、我が国の技術によって海外のCO<sub>2</sub>排出の削減に寄与し、排

出枠を獲得することが、CO<sub>2</sub>の回収・貯留費用を捻出する方法のひとつである。前述の経済性の問題に対してもこの方策は有利であると考えられる。

このように、CDMプロジェクトとしてCO<sub>2</sub>回収・貯留を行うことは、我が国にとっては、前述の「経

済性」「貯留適地の不透明さ」の問題の克服が期待できる。以下に、CDMの制度としての現状と、CDMプロジェクトによってCO<sub>2</sub>回収・貯留事業が実施できるようにするための課題について、順を追って述べる。

## 3 クリーン開発メカニズムの現状

### 3-1

#### クリーン開発メカニズム (CDM) とは

クリーン開発メカニズム(CDM)とは、京都議定書のもと、付属書I国(日本などの削減義務国)が、削減義務のない非付属書I国での(持続可能な開発の概念にかなう)排出削減プロジェクトに対して投資を行い、温室効果ガス排出の削減を行うという仕組みである。投資主体は、削減量に応じて、排出枠クレジットを獲得することができる。図表3に、その概要を示す。

### 3-2

#### クリーン開発メカニズムの方法論の審査

温室効果ガス削減プロジェクトがCDMにおけるプロジェクトとして認定されるためには、その実効的な方法論が開発される必要がある。例えば、プロジェクトによる削減量を決める際に、プロジェクトが実施されなかった場合の排出量を定めるベースラインを設定し、それとプロジェクト実施後の差を排出削減量と考えている。このベースラインをどう設定するかなどは、プロジェクトの種類によって異なってくる。このように、プ

ロジェクトの種類ごとに方法論が確立される。

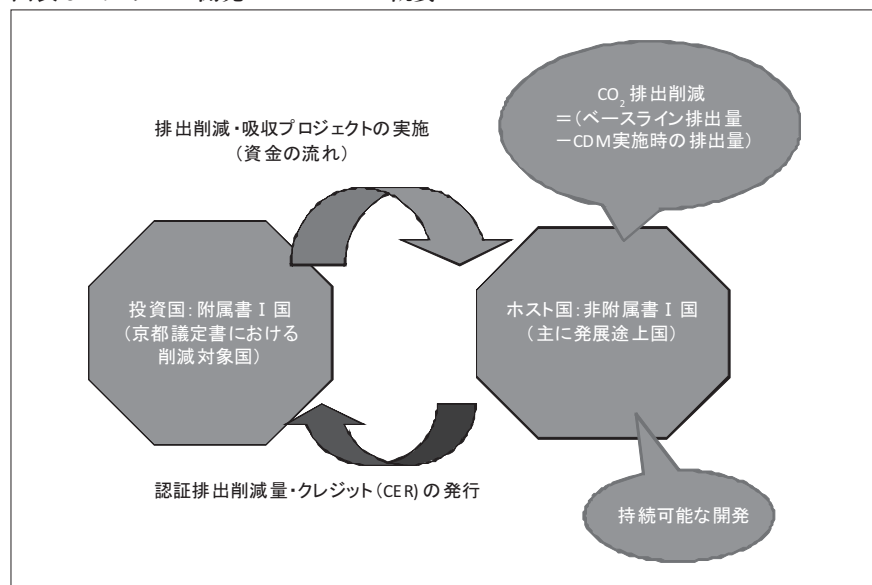
各方法論が開発された後、方法論はCDM理事会で認められる必要がある。そして、指定運営組織による検証を受けて認証されたのち、CDM理事会の認めたCDMプロジェクトとして登録が行えるようになる。投資主は、各方法論に則りプロジェクトを実施し、削減クレジットを獲得することができる。しかもプロジェクトが開始され、建設だけでなく一定期間の稼働後に指定運営組織による検証を受け、削減したCO<sub>2</sub>量が認証されてはじめて排出枠クレジットが発行される仕組みとなっている(図表4)。このプロセスで、前述の監視・記録・検証(MRV)技術が重要となるが、CO<sub>2</sub>回収・貯留事業に関しては、未だ十分に確立していないのである。

### 3-3

#### 登録されたプロジェクト

CDMプロジェクトの方法論としては、これまで100種類以上が開発されてきた。各方法論に基づき、風力・水力発電等の再生可能エネルギーやメタン回収等のプロジェクトが既に実施されている。2011年1月時点で登録されたプロジェクトの種類の割合(件数別)を

図表3 クリーン開発メカニズムの概要

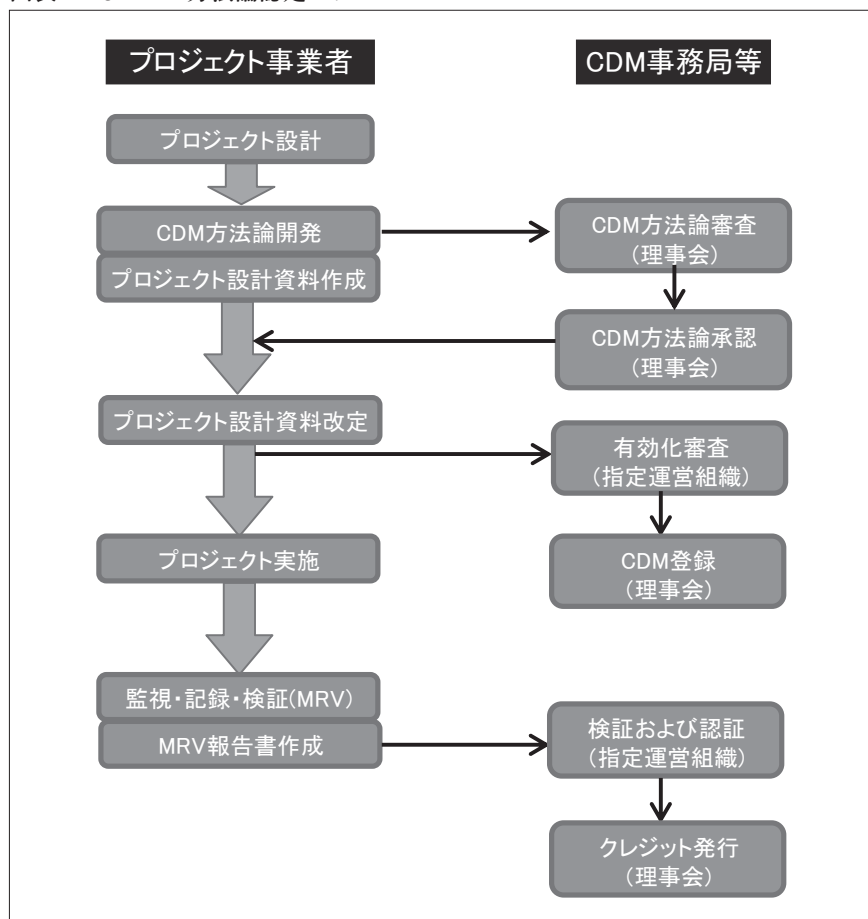


科学技術動向研究センターにて作成

図表5に示す。風力発電や水力発電など、排出削減の規模が比較的小さなプロジェクトが過半数を占めていることが分かる<sup>30)</sup> (なお、6件のプロジェクトは、四捨五入により0%と表記した)。

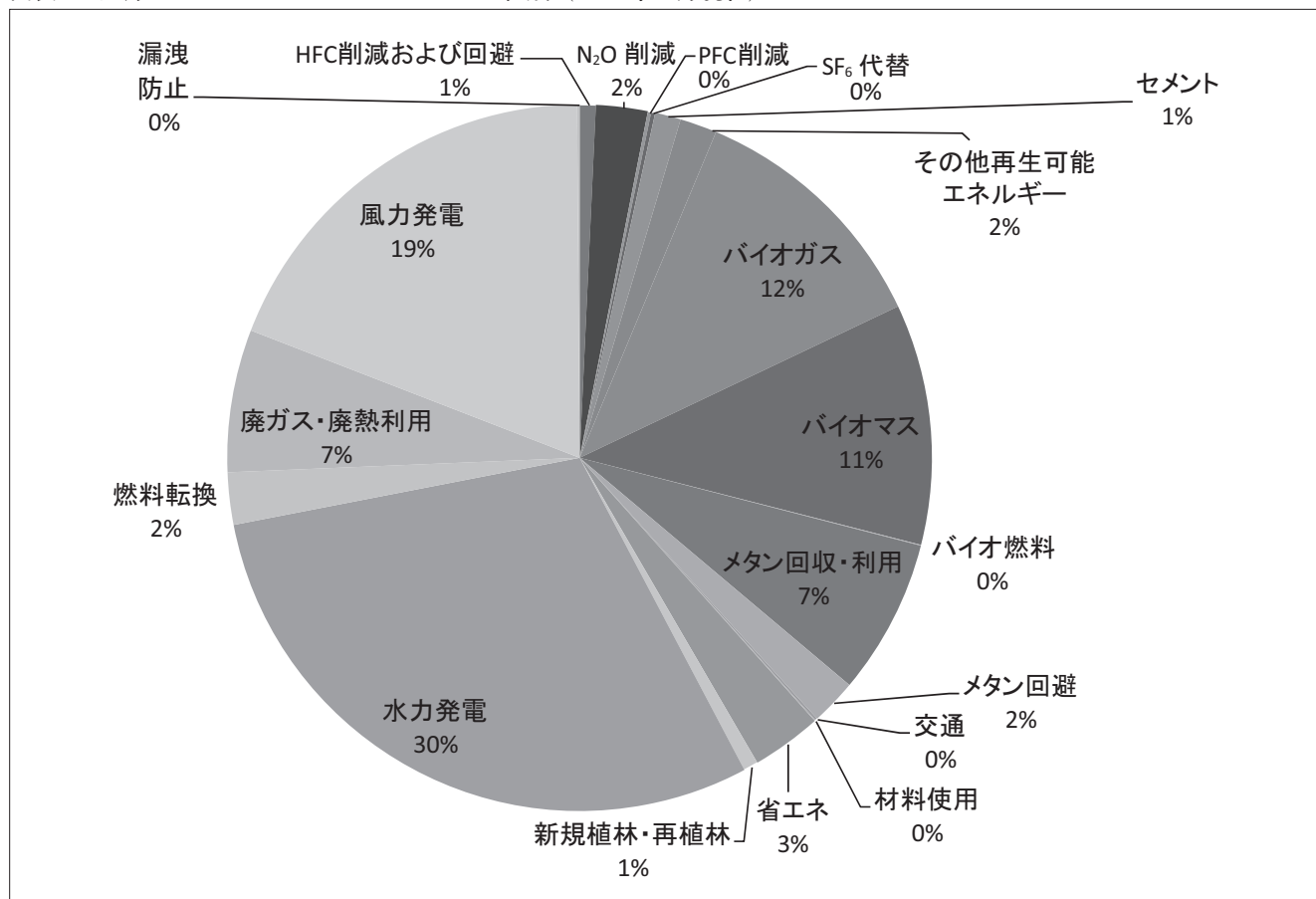
なお、2011年1月時点で、2712件のプロジェクトがすでに登録されており、2012年分までの累計で19.7億トン分のCO<sub>2</sub>の削減クレジットが産み出されてきた。さらに、2030年までには累計で77億トン分のCO<sub>2</sub>の削減クレジットが発行される予定である。このほかに、2011年1月時点で登録申請中のプロジェクトが200以上あり、有効化申請中のプロジェクトが3,000件以上ある<sup>30)</sup>。

図表4 CDMの方法論認定のプロセス



科学技術動向研究センターにて作成

図表5 登録されている CDM プロジェクトの種類 (2011 年 1 月現在)



IGES データベース<sup>30)</sup> を基に科学技術動向研究センターにて作成

## 4 クリーン開発メカニズム・プロジェクトとしての CO<sub>2</sub> 回収・貯留の実施に向けて

### 4-1

#### CO<sub>2</sub> 回収・貯留の クリーン開発メカニズム・ プロジェクトとしての現状

CDM プロジェクトとしての CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術に関する方法論の日本からの提案は、これまでに何度か提出されている。2005 年 9 月に、三菱 UFJ 証券(株)から、油・ガス層への貯留を対象とした方法論が提出された。2006 年 1 月には、(株)三菱総合研究所と日揮(株)が、天然ガスから分離回収した CO<sub>2</sub> の帯水層 / 枯渇油・ガス層への貯留を対象とした CDM 方法論を提出した。

この 2 つの提案については、CDM 理事会で審査が行われている段階で未だ認められていない。CDM 理事会は、気候変動枠組条約に基づいて設置された「科学および技術の助言に関する補助機関 (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice : SBSTA)」からガイダンスを受け、それによって判断を行うとしている。SBSTA は、CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術が CDM プロジェクトとして適格と認められるために必要な課題を次節のように明示した。その後、2009 年 12 月のコペンハーゲンでの COP15 にて議論がされたが、賛成 / 反対の両意見が出て結論がまとまらず、次回への持ち越しとなった。

このように、CDM に係る CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の扱いはなかなか合意されなかった。これは、4-2 に述べる実務的な課題に加え、省エネや再生可能エネルギー等の既存プロジェクトへ投資が減るのではないかという懸念が、CDM のホスト国となっている国にあったか

らと考えられる<sup>31)</sup>。しかし、2010 年 12 月のメキシコのカンクンでの COP16 にて、ようやく CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術が CDM プロジェクトとして適格であることが合意された<sup>32)</sup>。これは、大きな前進であり、次節に示すような実務的な課題が解決されれば、CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の CDM としての方法論が確立する可能性が出てきたのである。

### 4-2

#### 実務的な課題

カンクン合意前の段階で、CO<sub>2</sub> 回収・貯留を CDM プロジェクトとして実施するにあたり、SBSTA はいくつかの実務的な課題を挙げている。そのうちの大きな課題は、次の 2 点である。

##### (1) 環境影響・安全性と責任帰属

CDM は持続可能性を重視することもあり、SBSTA は CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の環境・安全面の課題を指摘している。具体的には、CO<sub>2</sub> の輸送や関連施設設置に関わる安全確保、CO<sub>2</sub> 回収・貯留がもたらしうる周辺環境への影響の可能性、万一 CO<sub>2</sub> が漏洩した場合の人体、生態系および地下水への影響である。漏洩はもちろんであるが、漏洩が原因ではないかと疑われる環境影響や人的被害があれば、その損害賠償の問題が発生する可能性がある。CO<sub>2</sub> 圧入の途中で予期せぬ事態が生じた場合ですら、CO<sub>2</sub> 回収・貯留事業との因果関係は紛議をもたらすことが考えられる。まして、圧入を終了し長期を経た後のことであればなおさらのことである。

また、万一漏洩が起きた場合に

は、人的被害が皆無の場合であっても、過去に CDM によって発行された CO<sub>2</sub> 排出枠クレジットの少なくとも一部が無効になる。この漏洩による排出枠の減少をどう取り扱うのかも問題となる。

##### (2) 監視・記録・検証技術の確立と国際標準化

SBSTA が挙げているもうひとつの重要な課題は、前述した MRV 技術の確立である。特に、CO<sub>2</sub> 回収・貯留が CDM プロジェクトとして認められるためには MRV 技術が十分確立し、国際的に受け入れられる必要がある。

信頼性が高い MRV 技術が開発されても、その検証技術・手法が国際的に受け入れられる必要がある。監視・記録・検証を CO<sub>2</sub> の圧入終了後いつまで継続すべきかなどの規約事項も含め、監視・記録・検証全体の国際標準化が必要だろう。

### 4-3

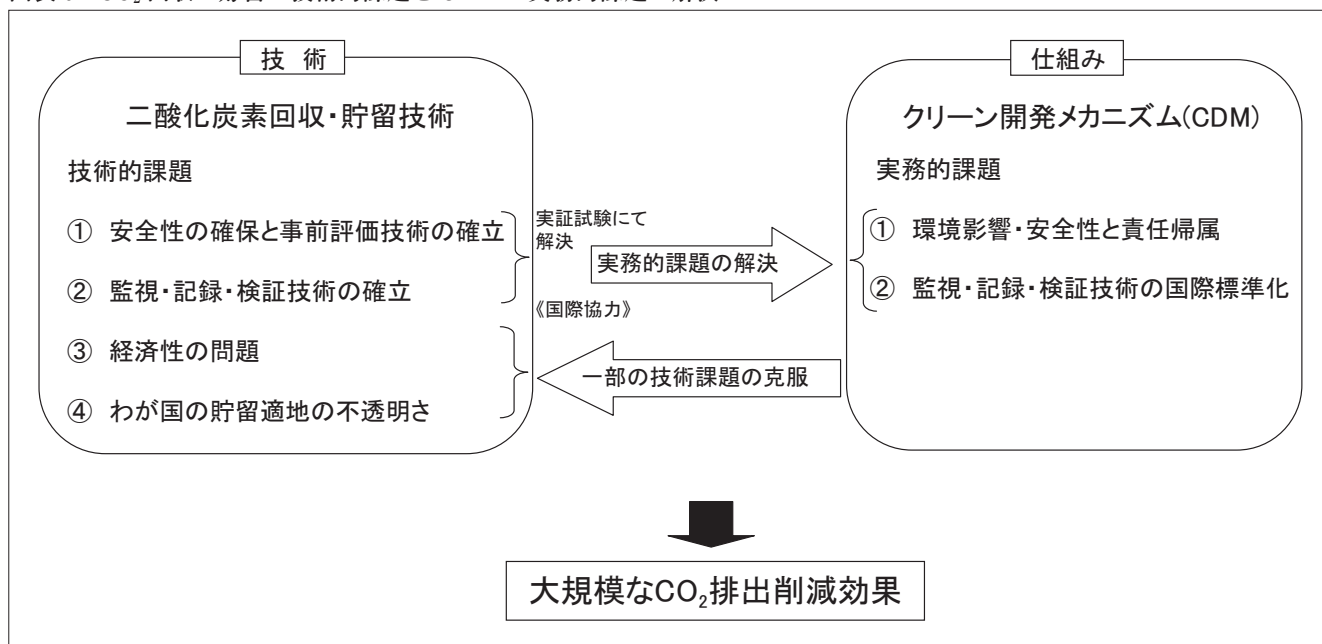
#### クリーン開発メカニズムとしての CO<sub>2</sub> 回収・貯留実施にむけた 今後の方向性

24 で述べた CO<sub>2</sub> 回収・貯留の技術的課題と、4-2 で述べた CDM の実務的課題は、相互に関連したものである。車輪の両輪のように、一方の解決が他方にも有効に作用し、結果として CO<sub>2</sub> の排出削減が進むと期待される (図表 6)。その課題の解決において、特に我が国は何をすべきかを以下に提言する。

##### (1) 実証試験の着実な推進

CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の安全性を社会に対して実証すること、すな



図表6 CO<sub>2</sub>回収・貯留の技術的課題とCDMの実務的課題の解決


科学技術動向研究センターにて作成

わち、MRV 技術の開発などを行うことは、実証試験の現場でなければ開発・検証できない技術課題である。地道な運転の積み重ねで社会から信頼を得る以外に方法はない。我が国の貯留適地のうち、複数の代表的な地質において、貯留量、圧入レートなどの面で実用規模の実証試験を着実に推進することが必要である。

## (2) 国際協調による監視・記録・検証技術や安全性評価方法の国際標準化

CDM においては、CO<sub>2</sub> 排出削減量の認証は国際的にデータの正確さが認められる必要がある。それには、CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術の実証を行っている様々な国と国際協力をを行い、世界全体で効率的な実証調査を行っていくことが有効と考えられる。国際協調により、効率的かつ早期に全体がレベルアップすることも期待される。日本がこの国際協調を進めれば、地球温暖化対策のスピードアップにつながり、日本の世界貢献とも考えられるだろう。

同時に安全性評価手法や監視・

記録・検証手法、責任の帰属、削減効果の認証方法など、技術基準や枠組みの国際標準化を主導的に図ることが、将来我が国が海外で CO<sub>2</sub> 回収・貯留を行う場合に、どこの国でもスムーズに実行できるようにするための方策であろう。CDM においては、CO<sub>2</sub> 排出削減量の認証は、国連 CDM 理事会が認定した民間機関(指定運営組織)が行うことになっている。そこで、MRV 技術の確立のために、指定運営組織の実務経験者と、国内の技術者が共同で技術開発を行えるような場を国の支援によって設けることが有用ではないだろうか。

## (3) 貯留先候補国との良好な関係の構築

将来、CDM プロジェクトとして CO<sub>2</sub> 回収・貯留を円滑に行うためには、将来の貯留先候補国との良好な信頼関係を築いておくことが肝要である。その1つの方策として、実証実験を行っている国々やこれから行う意思のある国々の研究者との国際交流を進めていくことが有用と考えられる。具体的には、日本の研究者・技術者を諸

外国のプロジェクトに参加させることと同時に、日本の実証プロジェクトに諸外国の研究者・技術者を参加させることである。

既に、電源開発(株)等と豪州との共同プロジェクトが行われているが、今後はこのような先進国だけでなく、CDM のホスト国となるような国との連携も望まれる。

具体的には、①インド、中国、インドネシア、ブラジル等、貯留ポテンシャルが高く、かつ今後の成長と石炭消費量の増大が見込まれる国々、②東南アジアや中東など、貯留ポテンシャルが高く、かつ現に化石燃料採掘に随伴して CO<sub>2</sub> を排出している国々が、将来我が国が CDM として CO<sub>2</sub> 回収・貯留を実施する有力な候補国と考えられる。これらの国々との人的交流によって信頼関係で結ばれていけば、将来それらの国でのプロジェクト実施する際に適地探索の段階から円滑に進むだろう。また、監視・記録・検証技術等の国際標準を協議する交渉過程などでも、有利に作用することが期待される。

## 5 まとめ

我が国は既に省エネ等が十分進んでいるがために、国内の大幅な温室効果ガスの排出削減が難しい。今後、温室効果ガス削減に貢献していくためには海外での削減が有望な方策である。中でも、CDMの排出量取引を利用した排出削減が重要な削減手段となる。しかし、これまでの国際的に認められているCDMプロジェクトは削減規模が小さく、高い削減目標を達成するには十分ではないと考えられる。そこで、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術をCDMプロジェクトとして実施し、それによりCO<sub>2</sub>排出を削減することが望まれる。

CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は、各国の共通認識として、経済活動、環境およびエネルギー安全保障の3Eを同時に達成する技術であり、かつIEAにおいても一定の割合での導入シナリオが示されている技術である。また、性能向上やコスト

ダウンに大きな改良余地を残しつつも、実証段階に移行するために必要な要素技術は概ね確立している。しかし、CO<sub>2</sub>回収・貯留は、導入した者に経済的なインセンティブがないため、それに代わるもの、例えば、CDM利用による海外からのCO<sub>2</sub>排出権獲得というような恩恵がなければ商用化は難しい。

しかし、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術は、CDMプロジェクトとしては、議論されながら認められてこなかった。2010年12月のCOP16において、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術がCDMで適格であることが合意され環境は整いつつあるが、技術上と実務上の課題が残されている。特に、環境影響・安全性に対する懸念の払拭、並びに監視・記録・検証技術の確立が必要である。このために国際協調による技術開発を行い、技術の国際標準化を促進することで、

CDMプロジェクトとしてCO<sub>2</sub>回収・貯留技術の実現が近づくことを期待できる。

特に我が国においては、国内の貯留適地が不透明だという問題があり、CO<sub>2</sub>回収・貯留のCDMプロジェクトとしての実現が一層強く望まれる。国内での実証試験を通じた着実な技術開発とともに、監視・記録・検証技術の国際標準化により、我が国がスムーズに海外のCO<sub>2</sub>回収・貯留事業を通じて安定的にクレジットを獲得できるようにすることが、世界への貢献と我が国の国益につながるものと考えられる。

また今回の提案は、現在国で検討が進められている二国間クレジットの枠組みにおいても有用な提案であることを、ここで付しておきたい。

## 参考文献

- 1) 環境省 「IPCC 第4次評価報告書 統合報告書概要（公式版）」、p76  
<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/ar4syr.pdf>
- 2) 宮本和明 「CO<sub>2</sub>地中貯留技術を中心とした温暖化対策技術の開発動向」、科学技術動向 2002年6月号  
<http://www.nistep.go.jp/achiev/results02.html>
- 3) IEA “Technology Roadmap – Carbon Capture and Storage”, p6,  
[http://www.iea.org/papers/2009/CCS\\_Roadmap.pdf](http://www.iea.org/papers/2009/CCS_Roadmap.pdf)
- 4) 環境省 「ロンドン条約およびロンドン条約96年議定書の概要」  
[http://www.env.go.jp/council/toshin/t063-h1506/ref\\_01.pdf](http://www.env.go.jp/council/toshin/t063-h1506/ref_01.pdf)
- 5) 中村国広 「海洋汚染防止と二酸化炭素の廃棄（貯留）－海洋汚染防止法（平成19年）等を中心に－」 国立国会図書館 調査と情報第586号  
<http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/issue/0586.pdf>
- 6) 石炭エネルギーセンター 「石炭の埋蔵利用と分布」  
<http://www.jcoal.or.jp/intern/pdf/1-3.pdf>
- 7) 大平竜也 「石炭利用・クリーン化技術の最新動向と今後の展望－クリーンコールテクノロジーに着目して－」、科学技術動向 2004年11月号  
<http://www.nistep.go.jp/achiev/results02.html>
- 8) 渡辺隆夫、前田征児 「クリーンコールテクノロジーにおける高温型燃料電池の動向と展望」、科学技術動向 2006年11

月号

<http://www.nistep.go.jp/achiev/results02.html>

- 9) 小島彰 「鉄鋼業の温暖化対策とセクトラルアプローチ」、科学技術動向 2009 年 5 月号  
<http://www.nistep.go.jp/achiev/results02.html>
- 10) 経済産業省 「Cool Earth- エネルギー革新技術計画」、2008/3  
<http://www.meti.go.jp/press/20080305001/03cool-earth-pr.pdf>
- 11) 「新成長戦略～「元気な日本」復活のシナリオ～」 p58、首相官邸ホームページ  
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>
- 12) (財)地球環境産業技術研究開発機構ホームページ 「岩野原実証試験・モニタリング」  
<http://www.rite.or.jp/Japanese/project/tityu/nagaoka.html>
- 13) Callide Oxyfuel Project ホームページ  
<http://www.callideoxyfuel.com/Who/GlobalPartners/CSEnergy.aspx>
- 14) 経済産業省産業技術環境局二酸化炭素回収・貯留 (CCS) 研究会「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」  
<http://www.meti.go.jp/press/20090807003/20090807003-3.pdf>
- 15) R. Arts ほか “Fourteen years’ experience of monitoring CO<sub>2</sub> injection in the Utsira sand at Sleipner, offshore Norway”、CCS テクニカルワークショップ 2010/12/9  
<http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/workshop/workshop2010-kekka/05-rob%20arts.pdf>
- 16) 下田昭郎 「欧州における CCS 関連政策と技術開発の現状」、電中研レポート V08062、  
<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/V08062.html>
- 17) 米国エネルギー省プレス発表 (ホームページ)  
<http://www.energy.gov/news/9309.htm>
- 18) C.Hart ほか “Advancing Carbon Capture and Sequestration in China: A Global Learning Laboratory”, The Woodrow Wilson International Center ホームページ  
<http://www.wilsoncenter.org/topics/pubs/CES%2011%20pp.%2099-130.pdf>
- 19) Yi “Current situation of CCS R&D in Korea”, Clean Coal Day in Japan 2008  
<http://www.jcoal.or.jp/publication/kokusaikaigi/pdf/CCD2008/CCD2008Symposium23.pdf>
- 20) R. Arts ほか “Fourteen years’ experience of monitoring CO<sub>2</sub> injection in the Utsira sand at Sleipner, offshore Norway”、CCS テクニカルワークショップスライド 2010/12/9  
<http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/workshop/workshop2010-kekka/05-rob%20arts.pdf>
- 21) (財)地球環境産業技術研究開発機構 「二酸化炭素固定化・有効利用技術戦略マップ」、成果報告書 p2  
<http://www.rite.or.jp/Japanese/kenki/koubo/map2008/map2008.pdf>
- 22) 経済産業省、「CCS2020 我が国における二酸化炭素の分離回収・地中貯留に関する技術研究開発の動向」、p12、2007.2.15  
[http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/ccsws/4\\_nishio.pdf](http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/ccsws/4_nishio.pdf)
- 23) (財)地球環境産業技術研究開発機構、「二酸化炭素固定化・有効利用技術戦略マップ」、p2  
<http://www.rite.or.jp/Japanese/kenki/koubo/map2008/map2008.pdf>
- 24) 高木正人 「日本における地中貯留の経済評価と有用性」、p31、CCS ワークショップ 2007、  
[http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/ccsws/7\\_takagi.pdf](http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/ccsws/7_takagi.pdf)
- 25) NEDO 海外レポート No.1020、p7、2008.4.9  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1020/1020-01.pdf>
- 26) 中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会第 18 回資料、図表 9、2010.11.25  
<http://www.env.go.jp/council/06earth/y0611-18/mat01.pdf>
- 27) (財)地球環境産業技術研究開発機構 「RITE、20th Anniversary この 10 年の歩み」(図書)、p49
- 28) IPCC, “Carbon dioxide capture and storage”(レポート), p9  
<http://www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports/.files-images/SRCCS-WholeReport.pdf>
- 29) Akimoto et.al., Proc of GHGT7., 2004  
[http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-36/mat01\\_2-3.pdf](http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-36/mat01_2-3.pdf)
- 30) (財)地球環境戦略研究機関 (IGES) ホームページ  
[http://www.iges.or.jp/jp/cdm/report\\_cdm.html](http://www.iges.or.jp/jp/cdm/report_cdm.html)



- 31) IEA Cédric Philibert, Jane Ellis, and Jacek Podkanski "Carbon Capture and Storage in the CDM" 2007/12 COM/ENV/EPOC/IEA/SLT (2007) 10  
[http://www.iea.org/papers/2007/CCS\\_in\\_CDM.pdf](http://www.iea.org/papers/2007/CCS_in_CDM.pdf)
- 32) Carbon dioxide capture storage in geological formations as clean development mechanism project activities  
[http://unfccc.int/files/meetings/cop\\_16/application/pdf/cop16\\_cmp\\_ccs.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_cmp_ccs.pdf)

---

## 執筆者プロフィール



### 有村 俊秀

科学技術動向研究センター 客員研究官  
上智大学経済学部 准教授  
<http://pweb.sophia.ac.jp/arimura/>

上智大学経済学部准教授、同・環境と貿易研究センター・センター長。地球温暖化対策等の環境規制の経済分析を中心に研究。環境経済・政策学会理事、環境経営学会理事。中央環境審議会地球環境部会・国内排出量取引制度小委員会委員。



### 前田 征児

科学技術動向研究センター 客員研究官  
JX日鉱日石エネルギー株式会社 担当マネージャー  
<http://www.noie.jx-group.co.jp/>

工学博士。エネルギー関連の貯蔵・変換システムの研究開発に従事。専門は電気化学、材料工学。現在、エネルギー・環境分野の科学技術政策及び持続可能な制度設計に関心を持つ。JX日鉱日石エネルギー(株)研究開発企画部担当マネージャーに従事。



### 和田 潤

科学技術動向研究センター 環境・エネルギーユニット 特別研究員  
<http://www.nistep.go.jp/>

石炭の高度利用技術(クリーンコールテクノロジー)の開発に長年携わる。  
2010年7月より現職。グリーンイノベーション全般に関する科学技術や政策に関する調査研究を行っている。



### 浦島 邦子

科学技術動向研究センター 環境・エネルギーユニット 上席研究官  
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。